



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMISAH AIR - MINYAK  
BERBASIS METODE ADSORPSI MENGGUNAKAN  
MIKROKONTROLER TEENSY**

Bagus Aris Saputra  
NRP 07111440000176

Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.  
Ir. Tasripan, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMISAH AIR - MINYAK  
BERBASIS METODE ADSORPSI MENGGUNAKAN  
MIKROKONTROLER TEENSY**

Bagus Aris Saputra  
NRP 07111440000176

Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.  
Ir. Tasripan, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**FINAL PROJECT - TE 141599**

**DESIGN OF WATER - OIL SEPARATION SYSTEM BASED  
ON ADSORPTION METHOD USING TEENSY  
MICROCONTROLLER**

Bagus Aris Saputra  
NRP 07111440000176

Advisor  
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.  
Ir. Tasripan, M.T.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pemisah Air – Minyak Berbasis Metode Adsorpsi Menggunakan Mikrokontroler Teensy” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya orang lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



Bagus Aris Saputra  
NRP. 07111440000176

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....



**RANCANG BANGUN SISTEM PEMISAH AIR – MINYAK  
BERBASIS METODE ADSORPSI MENGGUNAKAN  
MIKROKONTROLER TEENSY**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Elektronika  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.**  
**NIP: 196904261994031003**

**Ir. Tasripan, M.T.**  
**NIP: 196204181990031004**



.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

# **RANCANG BANGUN SISTEM PEMISAH AIR – MINYAK BERBASIS METODE ADSORPSI MENGUNAKAN MIKROKONTROLER TEENSY**

**Nama** : Bagus Aris Saputra  
**Pembimbing 1** : Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.  
**Pembimbing 2** : Ir. Tasripan, M.T.

## **ABSTRAK**

Limbah yang dihasilkan industri sering kali dibuang ke laut tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu. Selain itu, kecelakaan kerja sering terjadi di perusahaan lepas pantai yang bergerak di bidang perminyakan, seperti terjadinya kebocoran pipa, tumpahnya minyak yang dibawa dan tenggelamnya kapal pembawa minyak tersebut. Jika terdapat lapisan minyak tersebut dapat mengganggu keberlangsungan hidup biota laut. Pada penelitian ini telah dirancang suatu sistem yang dapat memisahkan air dan minyak berbasis metode adsorpsi atau penyedotan dan dilakukan secara otomatis yang ditempatkan pada suatu prototipe kapal. Sistem ini memanfaatkan komponen optik menggunakan laser dan *light dependent resistor* (LDR) untuk mengukur ketebalan minyak dan pompa hisap untuk mengambil minyak tersebut. Laju pompa hisap dikendalikan berdasarkan ketebalan minyak menggunakan kontrol proporsional. Mikrokontroler yang digunakan pada sistem ini yaitu Teensy yang memiliki ukuran yang cukup ringkas. Hasil pengujian menggunakan prototipe kapal, tingkat keberhasilan sistem untuk menyedot minyak dari permukaan air mencapai 86%. Dari hasil tersebut, sistem ini layak diimplementasikan pada ASV (*Autonomous Surface Vehicles*) sebagai salah satu metode untuk melakukan pembersihan laut dari tumpahan minyak secara otomatis.

**Kata kunci:** Ketebalan minyak, Kontrol proporsional, Laser, LDR, Mikrokontroler Teensy.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

# **DESIGN OF WATER – OIL SEPARATION SYSTEM BASED ON ADSORPTION METHOD USING TEENSY MICROCONTROLLER**

**Name** : Bagus Aris Saputra  
**1<sup>st</sup> Advisor** : Dr. Muhammad Rivai S.T., M.T.  
**2<sup>nd</sup> Advisor** : Ir. Tasripan, M.T.

## **ABSTRACT**

Waste that produced by industry often thrown away into the sea without any special treatment. Furthermore, many work accidents occur in offshore oil companies, such as pipeline leakage, oil spillage and drowning of oil carriers. If there is oil layer in the sea, either from waste or spillage, it may affect life of marine organisms. In this study an autonomous separation system of water and oil based on adsorption method has been made and it implemented on a prototype boat. The system utilizes optical components using laser and light dependent resistor (LDR) to measure oil thickness and pump to take the oil. The speed rate of pump is controlled based on oil thickness using proportional control. Teensy is used as microcontroller in system because it has compact size. Experiment results shown that the success rate of system using prototype boat around 86%. From that results, the system possible to be implemented on ASV (Autonomous Surface Vehicles) as method to do oil cleansing on sea autonomously.

**Keywords:** Laser, LDR, Oil thickness, Proportional control, Teensy microcontroller.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur atas rahmat yang telah diberikan oleh Tuhan Yang Maha Esa. Karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Selama proses penelitian ini, penulis mendapatkan bantuan dari berbagai pihak baik dukungan secara moril maupun materiil. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang mendukung dan membantu dalam penelitian ini , diantaranya :

1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T. dan Ir. Tasripan, M.T., selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, inspirasi, pengarahan, dan motivasi yang diberikan selama pengerjaan penelitian ini.
2. Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc, Dr.Eng. Ir. Totok Mujiono, M.Ikom, Dr. Astria Nur Irfansyah, S.T., M.Eng., dan Muhammad Attamimi, B.Eng., M.Eng., Ph.D., sebagai dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran.
3. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang nyaman.
4. Teman-teman laboratorium Elektronika Industri B402 dan Elektronika Dasar B202 yang senantiasa membantu dan memberikan dukungan dalam mengerjakan penelitian ini.

Penulis sadar bahwa penelitian ini masih belum sempurna dan masih banyak hal yang perlu diperbaiki. Saran, kritik dan masukan baik dari semua pihak sangat membantu penulis terutama untuk berbagai kemungkinan pengembangan lebih lanjut.

Surabaya, Juli 2018

Bagus Aris Saputra  
NRP. 07111440000176

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....



# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Metodologi Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
1.7. Relevansi .....	4
BAB II. TEORI PENUNJANG.....	7
2.1. Pencemaran Air .....	7
2.2. Minyak.....	9
2.3. Sensor Optik .....	10
2.3.1 Laser.....	10
2.3.2 <i>Light Dependent Resistor</i> (LDR).....	12
2.4. Mikrokontroler Teensy .....	13
2.5. Kontrol PID .....	14
2.6. <i>Driver Motor</i> .....	15
2.7. <i>Diaphragm Pump</i> .....	15
2.8. <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM) .....	17
2.9. <i>Moving Average</i> .....	17
2.10. <i>Buck Converter</i> .....	18
2.11. <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD).....	19
BAB III. PERANCANGAN SISTEM .....	21
3.1. Diagram Blok Sistem.....	21
3.2. Perancangan Perangkat Keras.....	22
3.2.1 Sensor Optik.....	22
3.2.1.1 Laser.....	24

3.2.1.2 <i>Light Dependent Resistor</i> (LDR).....	25
3.2.2 <i>Buck Converter</i> .....	25
3.2.3 Mikrokontroler Teensy.....	27
3.2.4 <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD).....	28
3.2.5 <i>Driver Motor</i> .....	29
3.2.6 <i>Diaphragm Pump</i> .....	31
3.3. Perancangan Mekanik.....	32
3.4. Perancangan Perangkat Lunak.....	32
3.4.1 Pembacaan Sensor Optik.....	33
3.4.2 <i>Moving Average</i> .....	33
3.4.3 Kontrol Proporsional.....	34
3.4.4 Kendali <i>Diaphragm Pump</i> .....	34
BAB IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS.....	37
4.1. Realisasi Mekanik.....	37
4.2. Pengujian Perangkat Keras.....	41
4.2.1 Pengujian <i>Diaphragm Pump</i> .....	41
4.2.2 Pengujian Sensor Optik.....	41
4.2.3 Pengujian LCD.....	42
4.3. Pengujian Sistem Pemisah Air – Minyak.....	43
4.3.1 Pengujian Minyak Menggunakan Sensor Optik.....	43
4.3.2 Pengujian <i>Diaphragm Pump</i> Pada Sistem.....	48
4.4. Pengujian Akhir.....	48
BAB V. PENUTUP.....	51
5.1. Kesimpulan.....	51
5.2. Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN A.....	55
LAMPIRAN B.....	59
LAMPIRAN C.....	61
BIODATA PENULIS.....	63

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip kerja laser .....	10
Gambar 2.2 <i>Light Dependent Resistor</i> .....	12
Gambar 2.3 Prinsip kerja LDR.....	13
Gambar 2.4 Mikrokontroler Teensy.....	14
Gambar 2.5 Diagram blok kontrol PID.....	15
Gambar 2.6 Rangkaian <i>H-bridge</i> .....	16
Gambar 2.7 Prinsip kerja <i>diaphragm pump</i> .....	16
Gambar 2.8 <i>Duty cycle</i> pada PWM.....	17
Gambar 2.9 Perbandingan penggunaan <i>moving average</i> .....	18
Gambar 2.10 Skematik <i>adjustable buck converter</i> .....	18
Gambar 2.11 LCD 16x2.....	19
Gambar 3.1 Diagram blok sistem.....	22
Gambar 3.2 Skematik sistem.....	23
Gambar 3.3 Antarmuka sensor optik dengan Teensy.....	23
Gambar 3.4 Skematik <i>constant current source</i> .....	24
Gambar 3.5 Laser .....	24
Gambar 3.6 Karakteristik respon spektrum GL12528 .....	26
Gambar 3.7 Skematik LDR menggunakan rangkaian <i>voltage divider</i> ..	26
Gambar 3.8 <i>Buck converter</i> .....	27
Gambar 3.9 <i>Pinout</i> Teensy.....	28
Gambar 3.10 Antarmuka Teensy dengan LCD .....	29
Gambar 3.11 Skematik LCD.....	29
Gambar 3.12 Antarmuka Teensy dengan <i>driver motor</i> .....	30
Gambar 3.13 Skematik <i>driver motor</i> L298N .....	30
Gambar 3.14 <i>Diaphragm pump</i> .....	31
Gambar 3.15 Antarmuka <i>driver motor</i> dengan <i>diaphragm pump</i> .....	31
Gambar 3.16 Desain mekanik ruang pengujian .....	32
Gambar 3.17 Desain mekanik kapal .....	33
Gambar 3.18 <i>Flowchart</i> perangkat lunak sistem.....	35
Gambar 4.1 Realisasi mekanik ruang pengujian .....	37
Gambar 4.2 Realisasi rangkaian elektrik.....	38
Gambar 4.3 Penempatan komponen LDR.....	39
Gambar 4.4 Realisasi mekanik ruang pengujian keseluruhan .....	39
Gambar 4.5 Realisasi mekanik prototipe kapal .....	40

Gambar 4.6 Penempatan cermin pada prototipe kapal.....	40
Gambar 4.7 Hasil pengujian LCD.....	42
Gambar 4.8 Metode pengujian minyak menggunakan sensor optik .....	43
Gambar 4.9 Hasil pengujian air menggunakan sensor optik .....	44
Gambar 4.10 Hasil pengujian oli menggunakan sensor optik .....	45
Gambar 4.11 Hasil pengujian solar menggunakan sensor optik .....	46
Gambar 4.12 Pendekatan matematis pada pengujian solar .....	47
Gambar 4.13 Hasil pengujian sistem menggunakan ruang pengujian...	49
Gambar 4.14 Hasil pengujian sistem pada prototipe kapal .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengaruh pH air terhadap biota laut .....	7
Tabel 2.2 Jenis-jenis minyak bumi beserta fungsinya .....	10
Tabel 2.3 Aplikasi laser berdasarkan daya keluaran .....	12
Tabel 3.1 <i>Pinout</i> Teensy pada sistem .....	27
Tabel 4.1 Hasil pengujian <i>diaphragm pump</i> .....	41
Tabel 4.2 Hasil pengujian LDR .....	42
Tabel 4.3 Hasil pengujian air menggunakan sensor optik .....	44
Tabel 4.4 Hasil pengujian oli menggunakan sensor optik .....	45
Tabel 4.5 Hasil pengujian solar menggunakan sensor optik .....	46
Tabel 4.6 Perbandingan matematis dan pengujian solar .....	47
Tabel 4.7 Variabel dan nilai yang digunakan pada sistem .....	49

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Semakin berkembangnya berbagai perusahaan pada bidang industri, semakin berkembang pula limbah yang dihasilkan. Limbah merupakan barang atau benda sisa dari kegiatan produksi, sehingga limbah tidak memiliki manfaat dan nilai lagi. Limbah sendiri dapat berupa padat, cair, maupun gas. Sering kali limbah tersebut tidak diolah terlebih dahulu sebelum dibuang, sehingga dapat membahayakan organisme lain. Salah satu pembuangan limbah yang berbahaya yaitu limbah cair industri yang mengandung zat kimia berbahaya dan minyak ke laut. Selain limbah industri, perusahaan yang bergerak di bidang perminyakan atau pengolahan sumber daya alam lepas pantai terkadang mengalami kecelakaan kerja yaitu kebocoran pipa, tumpahnya minyak yang dibawa dan tenggelamnya kapal pembawa minyak tersebut. Seperti pada tahun 2018, terjadi kebocoran pipa PT Pertamina (Persero) yang menyebabkan 12 ribu hektare perairan di Teluk Balikpapan tercemar oleh minyak [1]. Walaupun tidak dapat menyatu dengan air, minyak yang berada di laut memiliki potensi kerusakan yang besar terhadap ekosistem laut [2]. Efek dari limbah atau tumpahan minyak di laut yang dapat dilihat dalam jangka pendek yaitu matinya organisme-organisme laut karena teracuni minyak tersebut. Untuk jangka panjang, adanya minyak akan mempengaruhi sistem reproduksi dan tingkah lakunya, bahkan hilangnya populasi akan terjadi jika hal seperti ini terus terjadi.

Dengan adanya masalah tersebut, perkembangan teknologi yang bekerja di perairan sangat pesat. Salah satunya yaitu perkembangan ASV (*Autonomous Surface Vehicle*) yang merupakan kapal yang dapat bekerja otomatis tanpa awak. Tujuan dari ASV sendiri dapat dirancang sesuai kebutuhan penggunaannya, seperti ASV yang dapat memantau kadar gas CO dan pH di perairan [3]. Penggunaan ASV tentunya dapat dikembangkan lagi dengan berbagai tujuan lainnya, seperti dalam masalah tumpahan minyak di laut.

Pada penelitian ini dirancang suatu sistem yang dapat memisahkan air dan minyak berbasis metode adsorpsi atau penyedotan dan dilakukan secara otomatis yang ditempatkan pada suatu prototipe kapal, agar kadar minyak di laut dapat dikurangi bahkan dihilangkan. Sistem ini

memanfaatkan sensor optik untuk memantau ketebalan minyak, lalu digunakan pompa hisap untuk menghisap minyak yang berada pada permukaan air. Komponen optik yang dimanfaatkan berupa laser dan LDR (*Light Dependent Resistor*). Laser berfungsi sebagai sumber cahaya dan LDR akan menerima cahaya tersebut untuk mengetahui ketebalan minyak. Semakin tebal lapisan minyak, maka intensitas cahaya yang diterima laser akan semakin kecil, karena minyak memiliki daya hisap yang besar terhadap cahaya. Sedangkan air memiliki daya hisap yang rendah [4]. Untuk pompa hisap, memanfaatkan motor yang dikendalikan menggunakan kontrol proporsional untuk menghisap minyak dari permukaan air. Mikrokontroler yang digunakan adalah Teensy, karena memiliki ukuran yang ringkas dan performa yang baik. Teensy berperan sebagai pengatur sistem, dengan mengatur laju pompa hisap berdasarkan ketebalan minyak. Saat minyak tergolong tebal, pompa akan menghisap dengan cepat. Namun seiring menipisnya lapisan minyak, laju pompa akan turun dan pada akhirnya akan mati saat tidak terdapat lapisan minyak. Sistem seperti ini diharapkan dapat diimplementasikan pada ASV, sehingga upaya dalam mengatasi tumpahan minyak dapat dilakukan secara cepat dan otomatis.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Permasalahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sistem mampu mengukur ketebalan minyak.
2. Bagaimana sistem mampu memisahkan air dan minyak.
3. Metode kontrol yang digunakan.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Penelitian pada penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Menggunakan sensor optik untuk mengukur ketebalan minyak.
2. Mengukur ketebalan minyak, lalu diambil menggunakan pompa hisap.
3. Kontrol proporsional mengatur laju pompa hisap berdasarkan ketebalan minyak.

## **1.4. Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kondisi perairan tenang dan hanya terdapat air dan minyak saja, tidak ada objek lain yang menutupi sensor optik.
2. Lapisan minyak pada perairan merupakan minyak yang homogen.



## 1.5. Metodologi Penelitian

Dalam penyelesaian penelitian ini digunakan metodologi sebagai berikut:

### 1. Studi Literatur

Tahap ini meliputi pengumpulan dasar teori yang dapat menjadi acuan penelitian. Dasar teori akan diambil dari buku-buku, jurnal yang telah dipublikasi, *proceeding* dan artikel yang berhubungan dengan sistem pemisah air-minyak.

### 2. Perancangan Mekanik

Pada tahap ini dilakukan perancangan mekanik dari sistem pemisah air-minyak. Tahap yang dilakukan meliputi:

1. Desain sensor optik untuk mengukur ketebalan minyak
2. Desain pompa hisap untuk mengambil minyak dari permukaan air
3. Desain rangka untuk menyatukan sistem

### 3. Perancangan Perangkat Lunak

Pada tahap ini dilakukan perancangan dan pembuatan perangkat lunak sistem pemisah air-minyak. Perangkat lunak ini mengolah data yang diperoleh dari sensor optik untuk mengukur ketebalan minyak. Komponen optik yang dimanfaatkan berupa laser dan LDR (*Light Dependent Resistor*). Ketebalan minyak diketahui dari intensitas cahaya laser yang diterima oleh LDR. Setelah ketebalan minyak diketahui, digunakan kontrol proporsional untuk mengatur laju kecepatan pompa hisap. Laju kecepatan pompa hisap dikendalikan berdasarkan ketebalan minyak yang dibaca sensor optik, semakin tipis lapisan minyak, maka laju kecepatan pompa hisap semakin rendah. Pompa hisap akan berhenti bekerja saat tidak terdapat lapisan minyak lagi.

### 4. Pengujian Sensor Optik dan Pompa Hisap

Tahap ini dilakukan untuk menguji masing-masing bagian, baik sensor maupun aktuator untuk mengukur ketebalan dan menghisap minyak. Pada tahap ini juga dilakukan pengujian kontrol proporsional, dimana nilai kontrol proporsional didapatkan dari pengujian *trial and error*.

### 5. Implementasi Sistem Pada Mikrokontroler

Setelah dilakukan berbagai perancangan di atas, dilakukan implementasi sistem pemisah air-minyak pada mikrokontroler Teensy sehingga didapatkan hasil pengujian yang sebenarnya. Kelebihan menggunakan Teensy yaitu memiliki performa baik dengan ukuran yang tergolong ringkas.

## 6. Penulisan Laporan

Setelah dilakukan pengujian dan pengambilan data, dilanjutkan dengan penulisan laporan penelitian berdasarkan hasil pengujian sistem.

## 7. Penulisan *Paper* POMITS

Tahap terakhir, melakukan penulisan dan penyusunan *paper* POMITS berdasarkan data hasil penelitian yang telah dilakukan.

### 1.6. Sistematika Penulisan

Laporan penelitian ini terdiri dari lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

- Bab 1 : Pendahuluan  
Bab ini meliputi latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan penelitian dan relevansi.
- Bab 2 : Dasar Teori  
Bab ini menjelaskan tentang dasar teori yang dibutuhkan dalam pengerjaan penelitian ini, yang meliputi teori dasar sensor optik, kontrol proporsional, Teensy dan pompa hisap.
- Bab 3 : Perancangan Sistem  
Bab ini menjelaskan perencanaan dari sistem yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak untuk mencapai tujuan yang diharapkan dari penelitian ini.
- Bab 4 : Pengujian Sistem  
Bab ini menjelaskan tentang hasil yang didapat dari pengujian tiap blok sistem secara keseluruhan.
- Bab 5 : Penutup  
Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari pengujian sistem yang meliputi tingkat keberhasilan kerja sistem serta pemberian saran untuk dikembangkan selanjutnya.

### 1.7. Relevansi

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat memisahkan air dan minyak secara otomatis dengan cara mengukur ketebalan minyak, lalu minyak dihisap menggunakan pompa hisap.

2. Dapat diimplementasikan pada ASV (*Autonomous Surface Vehicles*) agar upaya dalam mengatasi tumpahan minyak di laut dapat dilakukan secara cepat dan otomatis.

*.....Halaman ini sengaja dikosongkan.....*

## **BAB II**

### **TEORI PENUNJANG**

#### **2.1. Pencemaran Air**

Pencemaran air merupakan perubahan keadaan air di suatu tempat seperti sungai dan laut. Air dikatakan tercemar ketika air tersebut tidak dapat mendukung kehidupan makhluk hidup seperti tidak layaknnya air untuk dikonsumsi dan mengganggu keberlangsungannya biota air [5].

Menurut PP No. 20/1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air, pencemaran air disebabkan oleh berbagai kegiatan manusia. Bahan yang dapat mencemari air berasal dari berbagai sampah rumah tangga dan limbah industri. Sampah rumah tangga berupa plastik-plastik yang sulit untuk terurai dan bekas pemakaian sabun yang dapat menurunkan kualitas air. Indikator menurunnya kualitas air dapat dilihat saat pH air tersebut berubah. pH air sangat berpengaruh terhadap biota laut, seperti tabel 2.1. Sedangkan limbah industri berupa berbagai macam polutan seperti zat kimia berbahaya, minyak dan logam.

**Tabel 2.1** Pengaruh pH air terhadap biota laut [5]

<b>Nilai pH</b>	<b>Pengaruh</b>
6.0 – 6.5	<ul style="list-style-type: none"><li>- Keanekaragaman plankton menurun</li><li>- Biomassa, dan produktivitas tidak mengalami perubahan</li></ul>
5.5 – 6.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- Penurunan nilai keanekaragaman plankton semakin tampak</li><li>- Biomassa, dan produktivitas masih belum mengalami perubahan yang berarti</li><li>- Algae hijau berfilamen mulai tampak pada zona litoral (Wilayah saat terjadi air pasang)</li></ul>
5.0 – 5.5	<ul style="list-style-type: none"><li>- Penurunan keanekaragaman dan komposisi jenis plankton semakin besar</li><li>- Algae hijau berfilamen semakin banyak</li><li>- Proses nitrifikasi terhambat</li></ul>
4.5 – 5.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- Penurunan keanekaragaman dan komposisi jenis plankton semakin besar</li><li>- Algae hijau berfilamen semakin banyak</li><li>- Proses nitrifikasi terhambat</li></ul>

Limbah industri merupakan salah satu penyebab pencemaran air yang paling berbahaya. Industri yang kurang baik biasanya tidak mengolah limbahnya terlebih dahulu sehingga tidak aman saat limbah tersebut dibuang ke air. Selain limbah, industri dibidang perminyakan atau pengolahan sumber daya alam lepas pantai terkadang mengalami kecelakaan kerja yaitu berupa kebocoran pipa, tumpahnya minyak yang dibawa dan tenggalannya kapal pembawa minyak tersebut. Sehingga air laut tercemar oleh minyak serta bahan bakar kapal berupa solar. Tumpahan tersebut sangat mempengaruhi kehidupan biota laut. Selain berkurangnya kandungan oksigen ( $O_2$ ), tumpahan tersebut dapat meracuni biota laut juga. Sehingga jika kecelakaan tersebut terjadi, manusia harus segera melakukan pembersihan laut dari minyak tersebut. Berikut merupakan beberapa metode yang saat ini sering digunakan untuk mengatasi tumpahan minyak di laut:

- *Skimming* : Mengumpulkan minyak pada satu titik, kemudian minyak disedot menggunakan *skimmer* ke dalam kapal
- Pembakaran : Membakar daerah yang terdapat tumpahan minyak
- Dispersan : Menyemprotkan dispersan melalui pesawat untuk menghancurkan lapisan minyak
- *Sorbent* : Jika tumpahan terdapat di pinggir pantai, dipasang sepon (*sponge*) yang panjang untuk menyerap minyak
- Pembuatan Tembok : Jika tumpahan mendekati daratan, didirikan tembok untuk membatasi penyebaran tumpahan minyak

Sedangkan untuk memisahkan suatu zat yang tercampur dengan zat lain, seperti air dan minyak ini, terdapat beberapa cara untuk memisahkan zat campuran tersebut. Berikut merupakan cara untuk memisahkan zat campuran :

- Filtrasi : Pemisahan zat padat dari suatu zat cair melalui saringan atau filter yang berpori
- Kristalisasi : Memperoleh zat padat dalam suatu zat cair
- Distilasi : Memperoleh zat yang terlarut dengan zat lain dengan titik didihnya berbeda
- Sublimasi : Campuran zat padat yang dipisahkan dengan cara distilasi yang secara langsung diubah menjadi bentuk padat
- Ekstraksi : Pemisahan suatu zat campuran dengan melarutkan zat tersebut pada pelarut yang sesuai

- Adsorpsi : Penarikan suatu zat terhadap zat lain secara kuat, baik secara kimiawi menggunakan senyawa maupun mekanik menggunakan pompa hisap
- Kromatografi : Pemisahan berdasarkan perbedaan kecepatan zat terlarut pada permukaan benda yang dapat menyerap
- Pengayakan : Pemisahan campuran zat padat yang memiliki ukuran partikel berbeda-beda
- Dekantir : Pemisahan campuran yang penyusunnya terdiri dari zat padat dan cair dengan cara menuangkan cairan ke wadah lain
- Setrifugasi : Pemisahan campuran zat yang memiliki ukuran partikel berbeda dengan cara diputar dalam suatu wadah
- Evaporasi : Pemisahan campuran dengan cara memanaskan campuran menjadi uap

## 2.2. Minyak

Minyak adalah salah satu kelompok yang termasuk pada golongan lipid, yaitu senyawa organik yang terdapat di alam serta tidak larut dalam air, tetapi larut dalam pelarut organik non-polar, misalnya dietil eter ( $C_2H_5OC_2H_5$ ), Kloroform ( $CHCl_3$ ), benzena dan hidrokarbon lainnya yang polaritasnya sama.

Minyak merupakan larutan seperti air, tetapi memiliki beberapa perbedaan seperti:

- Minyak merupakan senyawa non-polar, sedangkan air senyawa polar. Sehingga jika air dan minyak diaduk dalam satu wadah, kedua larutan ini tidak dapat menyatu.
- Massa jenis minyak lebih kecil yaitu 0.8 gram/cm<sup>3</sup>, sedangkan air 1 gram/cm<sup>3</sup>. Sehingga jika air dan minyak diletakkan pada satu wadah, lapisan minyak berada diatas lapisan air.
- Konduktivitas atau kemampuan minyak untuk menghantarkan listrik lebih kecil dibandingkan air. Sehingga minyak bertindak sebagai lapisan yang menahan aliran listrik.

Minyak bumi merupakan minyak yang memiliki ciri-ciri kental, berwarna gelap dan mudah terbakar. Minyak bumi terdapat pada lapisan atas dari kerak bumi. Minyak ini memiliki beberapa jenis dan fungsinya masing-masing seperti pada tabel 2.2. Kualitas minyak juga dapat diketahui menggunakan panjang berkas pembiasan cahaya [6].

**Tabel 2.2** Jenis-jenis minyak bumi beserta fungsinya

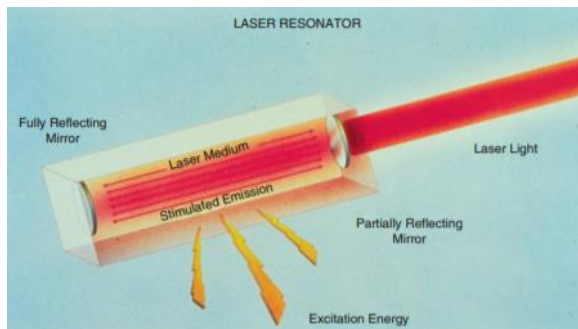
Jenis Minyak Bumi	Fungsi
Minyak Eter	Pelarut
Minyak Ringan	Bahan bakar mobil
Minyak Berat	Bahan bakar mobil
Kerosene	Bahan bakar mesin jet
Minyak Gas	Minyak diesel atau pemanas
Minyak Pelumas	Minyak mesin

### 2.3. Sensor Optik

Sensor optik merupakan komponen elektronika yang memiliki prinsip kerja mengubah energi dari foton menjadi elektron. Komponen optik yang digunakan pada penelitian ini Laser dan *Light Dependent Resistor* (LDR). Laser digunakan sebagai sumber cahaya. Sedangkan LDR digunakan untuk memantau tegangan *output* dari cahaya yang diperoleh.

#### 2.3.1 Laser

Laser atau *Light Aplification by Stimulated Emission of Radiation* merupakan proses pancaran cahaya yang terstimulasi sehingga memancarkan cahaya seperti pada gambar 2.1. Keuntungan menggunakan laser yaitu cahaya yang dihasilkan memiliki berkas cahaya yang kecil tetapi sangat terarah, serta intensitas yang tinggi [7]. Cahaya



**Gambar 2.1** Prinsip kerja laser [8]



yang dipancarkan laser menunjukkan panjang gelombang tunggal yang dapat dikenali dari frekuensi yang sama, beda fase yang konstan dan polarisasinya [9]. Panjang gelombang tunggal (satu warna) yang dihasilkan diperoleh dari pancaran foton pada arah yang sempit.

Prinsip kerja laser yaitu *absorption*, *spontaneous emission* dan *stimulated emission* seperti gambar 2.1. *Absorption* merupakan tahap awal untuk memancarkan cahaya laser, dimana elektron menyerap energi dari foton untuk melompat ke tingkat energi yang lebih tinggi. Untuk beralih, elektron membutuhkan energi ekstra yang disediakan dari berbagai sumber energi seperti panas, medan listrik dan cahaya. Keadaan dasar tersebut disebut E1, dan keadaan tereksitasi disebut E2. *Spontaneous emission* merupakan tahap selanjutnya dimana elektron dalam keadaan tereksitasi kembali ke keadaan dasar dengan memancarkan foton, karena elektron dalam keadaan tereksitasi hanya bertahan sementara. Foton yang dipancarkan merupakan cahaya biasa yang tidak koheren atau berubah dengan fase yang acak, sehingga foton tidak berpindah ke posisi sebelumnya. *Stimulated emission* merupakan tahap akhir dimana foton yang berinteraksi dengan elektron tereksitasi dan memaksa kembali ke keadaan dasar. Energi yang dilepaskan elektron tereksitasi berupa cahaya yang berjumlah dua foton, satu hasil dari pelepasan elektron tereksitasi dan satu karena foton datang. Semua foton yang dipancarkan memiliki energi, frekuensi dan fase yang sama. Oleh karena itu, semua foton berpindah menuju arah yang sama. Pada wadah laser terdapat 2 kaca, yaitu yang penuh dan parsial. Kaca yang penuh berfungsi untuk menjaga foton tetap bergerak dalam satu wadah. Sedangkan kaca yang parsial berfungsi untuk menjaga sebagian foton bergerak dalam wadah dan sebagian keluar melalui lubang untuk dipancarkan.

Dalam pengaplikasiannya, laser dapat digunakan untuk tujuan tertentu tergantung pada daya keluaran laser seperti pada tabel 2.3. Daya keluaran laser memiliki persamaan seperti persamaan (2.1).

$$W = \frac{E}{t} \quad (2.1)$$

Dimana,

W : Daya keluaran (watt)

E : Usaha (joule)

t : waktu (detik)

**Tabel 2.3** Aplikasi laser berdasarkan daya keluaran [10]

Daya Keluaran	Fungsi
1 – 5 mW	Laser penunjuk ( <i>Pointer</i> )
5 mW	Perangkat CD-ROM
5 – 10 mW	Perangkat CD-ROM dan DVD-ROM
100 mW	Kecepatan tinggi pembakaran citra CD-RW
250 mW	Pembakaran DVD-R 16x
400 mW	Membakar kotak perhiasan dan percetakan DVD pada piringan ganda 24x
1 W	Laser dalam piringan <i>Holographic Versatile Disc</i> (HVD)
30 – 100 W	Pembedahan CO <sub>2</sub>
100 – 3000 W	Pemotongan di pabrik
100 KW	Digunakan pada bidang persenjataan

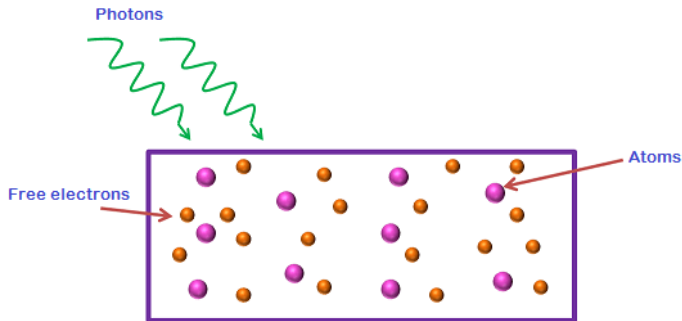
### 2.3.2 *Light Dependent Resistor (LDR)*

*Light Dependent Resistor* (LDR) merupakan suatu resistor yang nilai resistansinya bergantung pada cahaya yang diterima . Nilai resistansi LDR semakin besar, apabila intensitas cahaya yang diterima lebih kecil. LDR biasa digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya dengan cara energi cahaya berupa intensitas cahaya menjadi energi listrik berupa tegangan.

LDR terbuat dari bahan semikonduktor yaitu dengan senyawa *Cadmium Sulfide* (CdS) dan memiliki fisik seperti gambar 2.2. Dengan



**Gambar 2.2** *Light Dependent Resistor*



**Gambar 2.3** Prinsip kerja LDR [11]

bahan tersebut, semakin banyak LDR menerima cahaya, semakin banyak pula muatan yang dilepas dan menyebabkan arus listrik meningkat seperti pada gambar 2.3. Sehingga nilai resistansi akan menurun, sesuai dengan persamaan (2.2).

$$V = I \cdot R \quad (2.2)$$

Dimana,

V : Tegangan (volt)

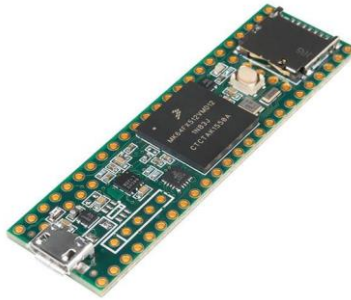
I : Arus (ampere)

R : Resistansi (ohm)

## 2.4. Mikrokontroler Teensy

Teensy merupakan sebuah *microcontroller development board* yang dikembangkan oleh Paul Stoffregen seperti pada gambar 2.4. Teensy memiliki ukuran yang tergolong kecil, sehingga mikrokontroler ini tidak banyak menghabiskan ruang jika digunakan pada suatu sistem atau alat [12].

Pemrograman pada Teensy dapat dilakukan menggunakan kompilier bahasa C atau Arduino IDE dengan *plugin* Teensyduino. Berbagai *library* di Arduino juga dapat diimplementasikan pada mikrokontroler Teensy. Beberapa sistem yang menggunakan Teensy pada sistemnya yaitu sistem pengaturan oksigen terlarut menggunakan metode logika fuzzy dan sistem pendeteksian kepatahan mata bor berdasarkan analisa getaran [13], [14].



**Gambar 2.4** Mikrokontroler Teensy

## 2.5. Kontrol PID

Kontrol *Proportional – Integral – Derivative* (PID) merupakan suatu kontroler umpan balik dengan cara menghitung nilai kesalahan antara nilai yang diinginkan (*setpoint*) dengan nilai yang terukur pada sistem. Kontrol PID dibutuhkan pada berbagai sistem instrumentasi untuk mencapai tujuan atau nilai yang diinginkan dengan memperbaiki nilai kesalahan secara terus-menerus.

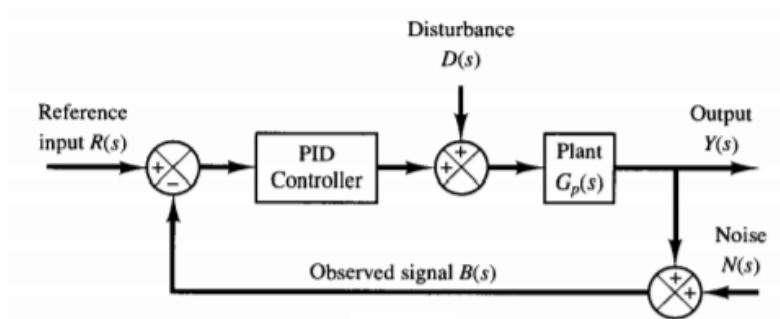
Kontrol PID terdiri dari tiga parameter, yaitu *proportional* (P), *Integral* (I) dan *derivative* (D) dengan diagram blok seperti gambar 2.5. Setiap parameter memiliki fungsi sebagai berikut [15]:

- *Proportional* (P) berfungsi untuk memperbaiki *rise time* dan *settling time*
- *Integral* (I) berfungsi untuk memperbaiki respon *steady-state*
- *Derivative* (D) berfungsi untuk memperbaiki respon transien

*Transfer function* sistem yang menggunakan kontrol PID memiliki persamaan seperti persamaan (2.3).

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Dalam menentukan besar dari nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ , dapat dilakukan dengan cara *tuning* secara manual atau menggunakan berbagai metode *tuning* lainnya seperti metode *Ziegler – Nichols*. Beberapa sistem yang menggunakan kontrol PID pada sistemnya yaitu sistem pemandu



**Gambar 2.5** Diagram blok kontrol PID [16]

pendaratan pada balon udara berbasis pengolahan citra dan mesin pemotong *styrofoam 3 axis* menggunakan *hot cutting pen* [17], [18].

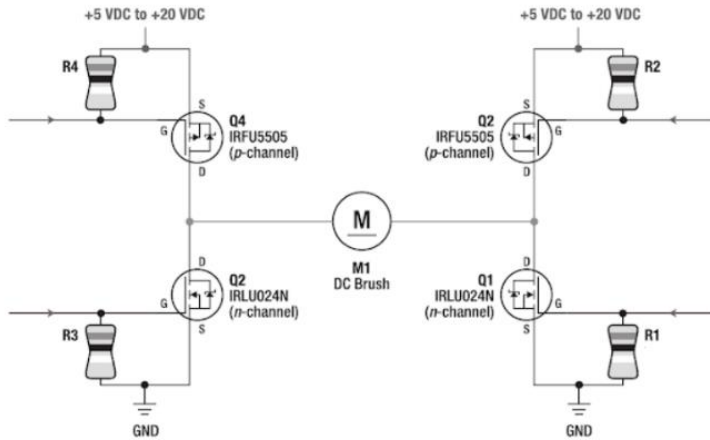
## 2.6. Driver Motor

*Driver* motor merupakan komponen yang berfungsi untuk mengatur arah dan kecepatan motor DC dengan menggunakan perintah dari mikrokontroler yang digunakan. Prinsip kerja *driver* motor L298N sesuai dengan rangkaian transistornya seperti pada gambar 2.6, yaitu *H-bridge*.

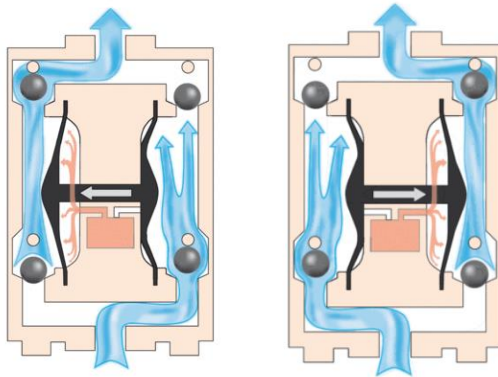
Untuk mengatur arah putar motor DC, perintah dari mikrokontroler berupa *logic-level* yang dihubungkan dengan tiap *input* pin motor A dan pin motor B. Sedangkan untuk mengatur kecepatan motor DC, perintah dari mikrokontroler menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dihubungkan dengan pin *enable* tiap motor motor A dan motor B.

## 2.7. Diaphragm Pump

*Diaphragm Pump* atau pompa diafragma merupakan pompa yang bekerja secara bolak-balik untuk menghisap dan mendorong air dari ruang pompa. Pada saluran masuk pompa, terdapat katup atau membran yang menjaga agar air mengalir sesuai pada salurannya. Untuk menghisap atau mendorong air, diafragma pada pompa perlu digerakkan. Prinsip kerja pompa diafragma seperti pada gambar 2.7. Pompa ini banyak digunakan di berbagai industri yang membutuhkan alat untuk menghisap dan mendorong air, salah satunya seperti dalam menangani limbah industri.

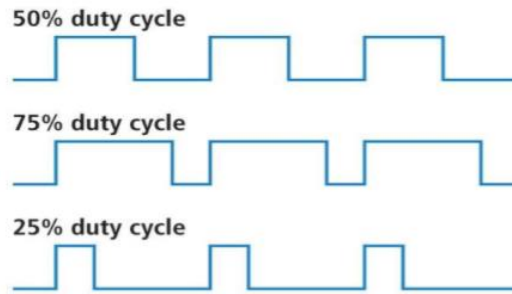


**Gambar 2.6** Rangkaian *H-bridge* [19]



**Gambar 2.7** Prinsip kerja *diaphragm pump* [20]

## 2.8. Pulse Width Modulation (PWM)



**Gambar 2.8** Duty cycle pada PWM [22]

*Pulse Width Modulation* (PWM) merupakan sinyal yang memiliki lebar pulsa dengan *logic-level* “HIGH”. Lebar pulsa ini menentukan nilai *duty cycle* yang merupakan perbandingan antara *logic-level* “HIGH” dan “LOW” dalam satu periode seperti pada gambar 2.8. Pada umumnya, PWM digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC, kecepatan servo dan tingkat kecerahan LED [21].

## 2.9. Moving Average

*Moving average* merupakan fungsi yang dapat diimplementasikan pada mikrokontroler untuk memperbaiki pembacaan nilai sensor yang kurang baik dan stabil. Fungsi ini akan membaca melalui *input* analog secara berulang, kemudian menghitung rata-rata nilai yang diperoleh. Sehingga pembacaan nilai sensor lebih baik dan tidak terlalu berpengaruh pada gangguan atau perubahan nilai yang kecil. Contoh pengaruh pembacaan sensor menggunakan *moving average* seperti pada gambar 2.9. Persamaan 2.4 merupakan persamaan *moving average* secara sederhana.

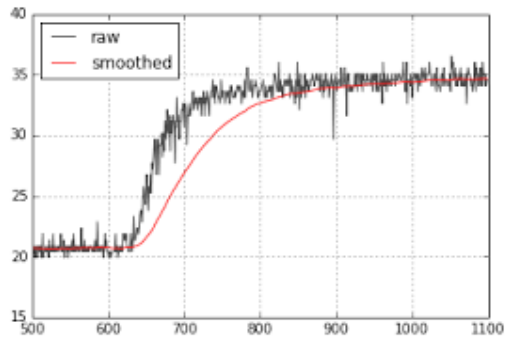
$$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-3} + \dots + A_{t-n}}{n} \quad (2.4)$$

Dimana,

$F_t$  : Rata-rata nilai

$A_{t-i}$  : Nilai atau data masukan

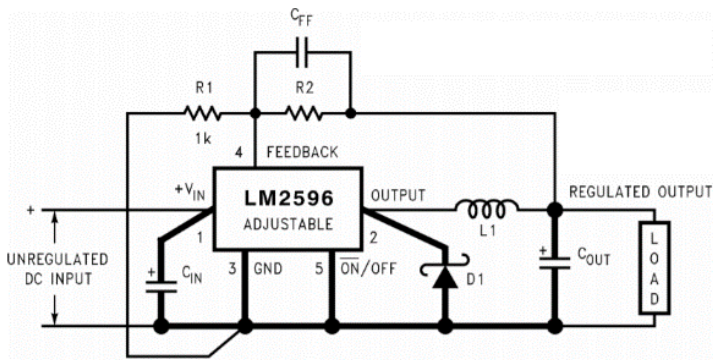
$n$  : Jumlah data yang dirata-rata



**Gambar 2.9** Perbandingan penggunaan *moving average* [23]

## 2.10. Buck Converter

*Buck Converter* merupakan rangkain yang berfungsi untuk mengatur tegangan. Tegangan perlu diturunkan apabila tegangan sumber terlalu tinggi untuk mensuplai tegangan suatu komponen atau modul. Jika tegangan yang diberikan pada komponen melebihi atau kurang dari tegangan yang dibutuhkan, komponen tidak akan bekerja dengan baik. Untuk memudahkan dalam mengatur *output* tegangan, dapat digunakan *trimmer* potensiometer. Skematik *adjustable buck converter* yang menggunakan LM2596 seperti pada gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Skematik *adjustable buck converter*



### **2.11. *Liquid Crystal Display (LCD)***

LCD merupakan komponen yang berfungsi untuk menampilkan suatu data dalam bentuk karakter, baik huruf, angka ataupun gambar. LCD biasa digunakan untuk menampilkan suatu variabel dari program yang tertanam pada sistem, seperti hasil pembacaan sensor dan keadaan sistem. LCD memiliki beberapa keuntungan, yaitu konsumsi daya yang relatif kecil, tampilan yang jelas dan mudah dibaca, serta memiliki berbagai ukuran sesuai dengan kebutuhan pengguna. LCD memiliki fisik seperti pada gambar 2.11.



**Gambar 2.11** LCD 16x2 [24]

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## BAB III

### PERANCANGAN SISTEM

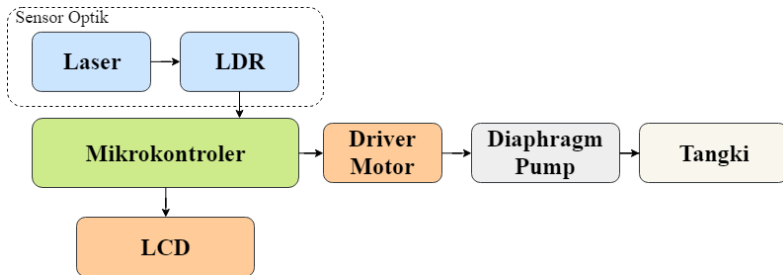
Bab perancangan sistem ini menjelaskan sistem secara keseluruhan yang meliputi perangkat keras, perangkat mekanik dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan pada sistem ini meliputi komponen optik (laser dan LDR), mikrokontroler Teensy, LCD, *driver* motor, *diaphragm pump* dan tangki. Perangkat mekanik yang dirancang berupa ruang pengujian yang merepresentasikan sistem jika diimplementasikan pada sebuah ASV. Perangkat lunak yang diimplementasikan pada sistem berupa pembacaan sensor optik, *moving average*, kontrol *proportional* dan kendali *diaphragm pump*.

#### 3.1. Diagram Blok Sistem

Pada gambar 3.1 menunjukkan diagram blok sistem pemisah air-minyak. Komponen optik terdiri dari laser dan LDR, dimana laser berfungsi sebagai sumber cahaya dan LDR yang menerima cahaya tersebut. Data intensitas cahaya yang diterima LDR dikirimkan ke mikrokontroler melalui ADC sebagai *input* sistem. Mikrokontroler mengolah data tersebut untuk menentukan nilai PWM yang akan dikirimkan ke *driver* motor untuk mengatur laju *diaphragm pump*, serta menampilkan parameter *input* dan *output* melalui LCD untuk memantau kerja sistem.

Perangkat keras sistem pemisah air-minyak :

- **Sensor Optik**  
Sensor optik berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya laser yang diterima LDR untuk mengetahui keberadaan serta ketebalan minyak di air.
- **Mikrokontroler Teensy**  
Mikrokontroler berfungsi untuk menjalankan program sistem pemisah air-minyak. Data pengukuran sensor optik diolah untuk menentukan nilai PWM *driver* motor dan menampilkan data tersebut melalui LCD.
- **Driver Motor**  
*Driver* motor berfungsi untuk mengatur laju *diaphragm pump* sesuai dengan nilai PWM yang diterima dari mikrokontroler.



**Gambar 3.1** Diagram blok sistem

- *Diaphragm Pump*  
*Diaphragm pump* berfungsi untuk mengisap minyak yang berada di permukaan air.
- LCD  
LCD berfungsi untuk menampilkan parameter *input* berupa tegangan dari sensor optik dan *output* berupa nilai PWM yang digunakan untuk mengatur laju *diaphragm pump*.
- Tangki  
Tangki berfungsi untuk menampung minyak yang dihisap sistem menggunakan *diaphragm pump*.

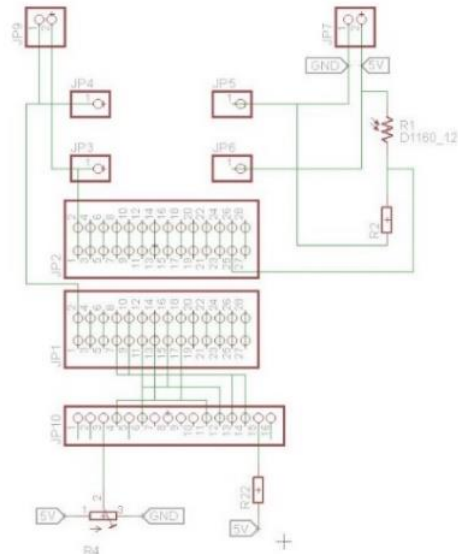
Perangkat lunak sistem pemisah air-minyak dijalankan menggunakan mikrokontroler Teensy. Mikrokontroler menerima *input* sensor optik berupa intensitas cahaya yang diubah menjadi tegangan. Dari *input* tersebut, data diolah untuk menentukan nilai PWM *driver* motor untuk mengatur laju *diaphragm pump*.

### 3.2. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras pada sistem pemisah air-minyak meliputi komponen optik (laser dan LDR), *buck converter*, mikrokontroler Teensy, LCD, *driver* motor, dan *diaphragm pump*. Pada gambar 3.2, menunjukkan skematik sistem secara keseluruhan yang kemudian akan direalisasikan menjadi PCB.

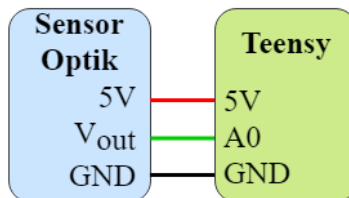
#### 3.2.1 Sensor Optik

Komponen optik terdiri dari komponen laser dan LDR yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya laser yang diterima LDR. Intensitas cahaya yang diterima dikonversi menjadi tegangan untuk



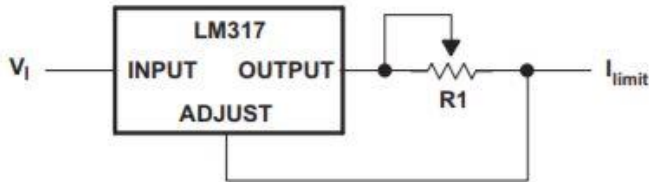
**Gambar 3.2** Skematik sistem

mengetahui ketebalan minyak seperti pada pada penelitian sebelumnya [4]. Antarmuka sensor optik dengan mikrokontroler seperti pada gambar 3.3. Pin *supply* dan *ground* sensor terhubung sesuai dengan pin mikrokontroler dan pin  $V_{out}$  yang memiliki nilai intensitas cahaya dihubungkan dengan pin A0 yang merupakan ADC mikrokontroler. Nilai intensitas cahaya yang memiliki rentang nilai 0 – 1023 dikonversi menjadi tegangan sebagai *input* sistem. Pada penelitian lainnya digunakan metode lain untuk mengetahui ketebalan minyak, yaitu memanfaatkan pasangan LED-LDR dan fiber optik [25], [26].



**Gambar 3.3** Antarmuka sensor optik dengan Teensy

### 3.2.1.1 Laser



**Gambar 3.4** Skematik *constant current source*

Laser yang digunakan sebagai sumber cahaya memiliki *output* daya sebesar 5mW dengan panjang gelombang (*wavelength*) 405 nm. Mengacu pada penelitian sebelumnya, laser yang memiliki panjang gelombang sekitar 405 nm atau berwarna biru paling baik untuk mendeteksi ketebalan minyak di air dibandingkan laser berwarna hijau dan merah, karena diantara ketiga warna tersebut, air memiliki daya serap paling kecil terhadap laser berwarna biru [4]. Pemilihan laser dengan *output* daya 5mW berdasarkan tabel 2.3 pada bab sebelumnya. Jangkauan sinar laser cukup kuat, tetapi tidak sampai merusak komponen LDR.

Untuk memancarkan cahaya laser dengan intensitas yang konstan, dibutuhkan laser *driver*. Laser *driver* menggunakan rangkaian *constant current source* dengan LM317 seperti gambar 3.4, agar dapat membatasi serta menghasilkan arus yang konstan untuk mensuplai laser. Laser yang digunakan pada penelitian ini seperti pada gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Laser

### 3.2.1.2 *Light Dependent Resistor (LDR)*

LDR yang digunakan adalah GL12528. Berdasarkan datasheet GL12528, LDR ini memiliki sensitivitas yang tinggi, keandalan yang baik, respon yang cepat dan karakteristik respon spektrum sekitar 300 – 800 nm seperti gambar 3.6. Dalam keadaan gelap, nilai resistansi LDR mencapai 2 M $\Omega$ . Sedangkan dalam keadaan terang 10 – 20 K $\Omega$ . Oleh karena itu, LDR ini cocok digunakan dengan laser yang digunakan pada penelitian ini, karena panjang gelombang laser berada pada rentang respon spektrum LDR. LDR ini menggunakan rangkaian *voltage divider* seperti gambar 3.7, dengan persamaan seperti persamaan (3.1).

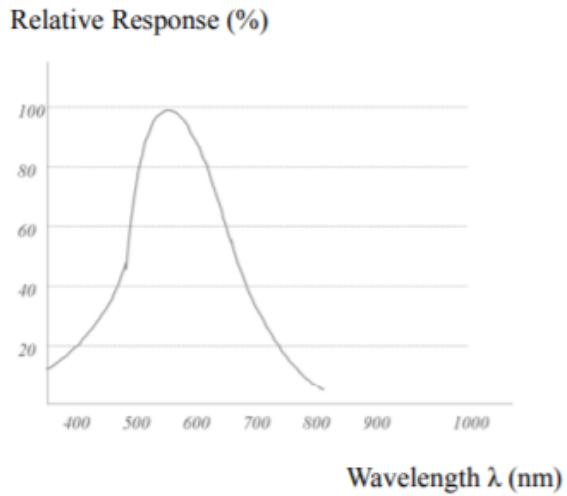
$$V_{Out} = V_{In} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.1)$$

Berdasarkan persamaan (3.1) dan datasheet LDR, maka nilai resistansi R2 dapat ditentukan berdasarkan rentang nilai yang ingin digunakan. Pada penelitian ini, rentang tegangan *output* yang digunakan yaitu 0 – 4.7 V. Oleh karena itu nilai resistansi R2 adalah 1 K $\Omega$ , dimana saat keadaan gelap ( $R_{LDR} = 2 \text{ M}\Omega$ ) tegangan *output* bernilai 0 V dan saat keadaan terang ( $R_{LDR} = 20 \text{ K}\Omega$ ) tegangan *output* mencapai 4.7 V. Berikut merupakan perhitungan dalam menentukan nilai resistansi R2.

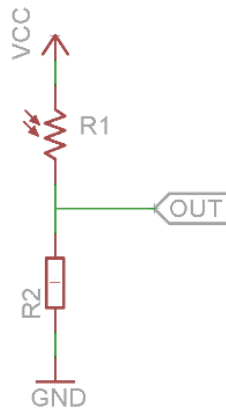
*Output* LDR atau sensor optik tersebut menjadi *input* sistem dengan mengirimkan data tersebut ke pin mikrokontroler melalui pin ADC.

### 3.2.2 *Buck Converter*

*Buck converter* merupakan modul yang dapat menurunkan level tegangan sesuai dengan kebutuhan komponen dengan mengatur *output* tegangannya menggunakan *trimmer* potensiometer. Pada sistem ini, sumber tegangan 5V yang digunakan untuk mensuplai LCD dan sensor optik (LDR) diturunkan menjadi 3.6V untuk mensuplai mikrokontroler. *Buck converter* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan LM2596 seperti pada gambar 3.8. Modul ini memiliki spesifikasi *input* tegangan mulai dari 3 sampai 40 volt dan *output* tegangan 1.5 sampai 35 volt, serta arus *output* maksimum sebesar 3 ampere.



**Gambar 3.6** Karakteristik respon spektrum GL12528



**Gambar 3.7** Skematik LDR menggunakan rangkaian *voltage divider*





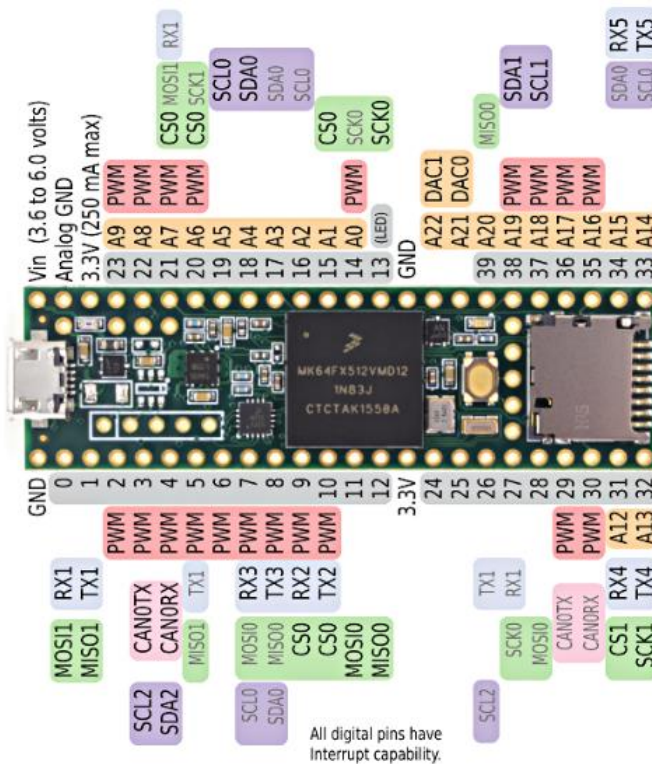
**Gambar 3.8** Buck Converter

### 3.2.3 Mikrokontroler Teensy

Pada penelitian ini, Teensy yang digunakan yaitu Teensy 3.5. Mikrokontroler Teensy digunakan untuk menjalankan program pada sistem pemisah air-minyak. Mikrokontroler mengolah *input* data sensor optik yang diambil dari pengukuran intensitas cahaya yang diterima LDR untuk menentukan nilai PWM *driver* motor. Teensy memiliki *pinout* seperti pada gambar 3.9 dan *pinout* yang digunakan pada sistem ditunjukkan pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1** *Pinout* Teensy pada sistem

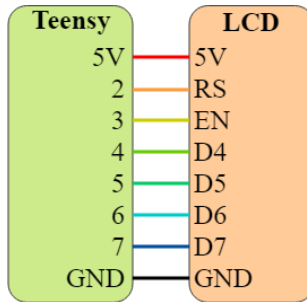
Pin	Komponen	Keterangan
A0	Sensor Optik (LDR)	Input ADC
2	LCD	Register select
3	LCD	Enable
4	LCD	8-bit data bus
5	LCD	8-bit data bus
6	LCD	8-bit data bus
7	LCD	8-bit data bus
21	Driver Motor	Motor A+
22	Driver Motor	Motor A–
23	Driver Motor	Enable Motor A



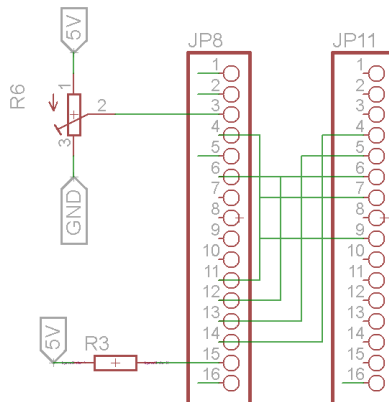
**Gambar 3.9** Pinout Teensy 3.5

### 3.2.4 Liquid Crystal Display (LCD)

LCD digunakan untuk menampilkan parameter *input* dan *output* sistem. Parameter *input* yang ditampilkan berupa intensitas cahaya yang diterima LDR yang dikonversi menjadi tegangan. Sedangkan parameter *output* yang ditampilkan berupa nilai PWM yang digunakan untuk mengatur laju *diaphragm pump* dalam bentuk persentase. Pada sistem ini, hanya 2 parameter tersebut yang ditampilkan. Oleh karena itu, digunakan LCD 16x2 dengan antarmuka seperti gambar 3.10. LCD ini memiliki skematik seperti gambar 3.11.



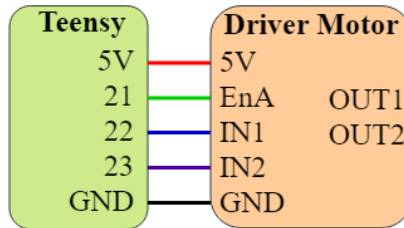
**Gambar 3.10** Antarmuka Teensy dengan LCD



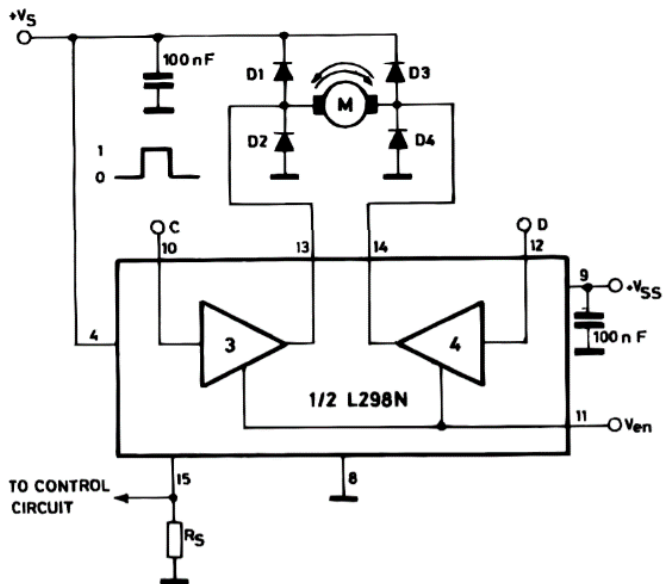
**Gambar 3.11** Skematik LCD

### 3.2.5 Driver Motor

*Driver* motor digunakan untuk mengatur kecepatan laju *diaphragm pump* sesuai dengan nilai PWM yang diterima dari mikrokontroler. Selain mengatur kecepatan, *driver* motor dapat mengatur arah putar motor. Tetapi pada sistem ini, hanya digunakan satu arah untuk mengoperasikan *diaphragm pump*. Pada penelitian ini digunakan modul L298N sebagai *driver* motor. Antarmuka *driver* motor dengan mikrokontroler seperti pada gambar 3.12. Modul ini menggunakan rangkaian *H-bridge* seperti skematik pada gambar 3.13.



**Gambar 3.12** Antarmuka Teensy dengan *driver* motor



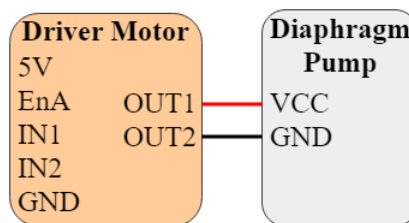
**Gambar 3.13** Skematik *driver* motor L298N

### 3.2.6 Diaphragm Pump



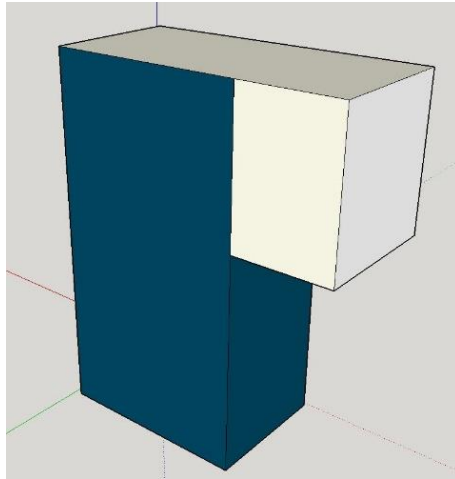
**Gambar 3.14** *Diaphragm pump*

*Diaphragm Pump* digunakan untuk menghisap minyak dari permukaan air. Laju *diaphragm pump* diatur oleh *driver motor* yang menerima nilai PWM dari mikrokontroler. *Diaphragm pump* yang digunakan pada penelitian ini seperti gambar 3.14. Antarmuka *diaphragm pump* dengan *driver motor* seperti pada gambar 3.15. Hasil dari penghisapan *diaphragm pump* akan dipompa menuju sebuah tangki untuk menampung minyak tersebut.



**Gambar 3.15** Antarmuka *driver motor* dengan *diaphragm pump*

### 3.3. Perancangan Mekanik

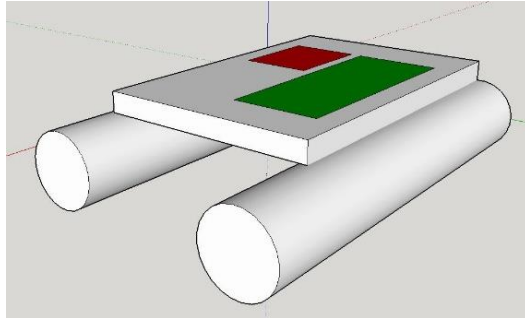


**Gambar 3.16** Desain mekanik ruang pengujian

Pada penelitian ini, sistem diuji pada suatu wadah berupa ruang pengujian. Desain akurium dirancang seperti gambar 3.16, agar sensor optik dapat diimplementasi, dimana laser memancarkan cahayanya dari bawah ruang yang merepresentasikan laser berada di dalam air jika diimplementasikan pada ASV. Untuk rangkaian lainnya berada diatas ruang yang merepresentasikan rangkaian lain pada sistem berada di ASV. Setelah sistem diuji pada wadah, dilakukan pengujian dengan mengimplementasikan sistem pada suatu prototipe kapal seperti gambar 3.17. Seluruh rangkaian diletakkan pada permukaan kapal yang ditandai dengan warna merah dan hijau.

### 3.4. Perancangan Perangkat Lunak

Pada bab perancangan perangkat lunak hanya menggunakan Teensy untuk melakukan pembacaan sensor optik, mengendalikan *diaphragm pump* dan kontrol *proportional*. Perancangan perangkat lunak secara keseluruhan seperti gambar 3.18.



**Gambar 3.17** Desain mekanik kapal

### 3.4.1 Pembacaan Sensor Optik

Pembacaan sensor optik digunakan untuk mengambil data intensitas cahaya yang diterima LDR melalui pin ADC Teensy. Rentang nilai sensor tersebut antara 0 – 1023. Nilai sensor yang diterima akan dikonversi menjadi tegangan dengan rentang nilai 0 – 5 volt, karena parameter yang digunakan untuk mengetahui ketelaban minyak pada sistem ini berupa tegangan sensor optik. Pada penelitian ini, pin A0 merupakan *pinout* Teensy yang dihubungkan dengan sensor optik. *Listing* program yang digunakan sebagai berikut:

```
int sensor_value = analogRead(sensor_pin);  
float sensor_voltage = sensor_value * (5.0 / 1023.0);
```

### 3.4.2 Moving Average

*Moving average* digunakan untuk memperbaiki nilai pada pembacaan sensor. Kerja fungsi ini dengan membaca *input* analog secara berulang, kemudian menghitung rata-rata nilai yang diperoleh. Pada penelitian ini, *moving average* melakukan rata-rata setiap 5 nilai yang diperoleh mikrokontroler. *Listing* program yang digunakan sebagai berikut:

```
total = total - readings[readIndex];  
readings[readIndex] = analogRead(sensor_pin);  
delay(100);  
total = total + readings[readIndex];
```

```
readIndex = readIndex + 1;  
if (readIndex >= numReadings) {  
    readIndex = 0;  
}  
average = total / numReadings;
```

### 3.4.3 Kontrol Proporsional

Kontrol proporsional digunakan untuk mengatur laju *diaphragm pump* dengan menghitung selisih antara nilai yang diinginkan (*setpoint*) dengan nilai hasil pembacaan sensor optik yang telah dikonversi menjadi tegangan, kemudian dikalikan dengan nilai  $K_p$  nya untuk menghasilkan nilai PWM. Nilai dari variabel didapatkan dari hasil pengujian pada bab selanjutnya. Nilai PWM *diaphragm pump* juga dibatasi untuk mengurangi air ikut terhisap. Karena jika laju *diaphragm pump* terlalu cepat, banyak air yang ikut terhisap. Sedangkan jika terlalu lambat, minyak tidak dapat terhisap. *Listing* program yang digunakan sebagai berikut:

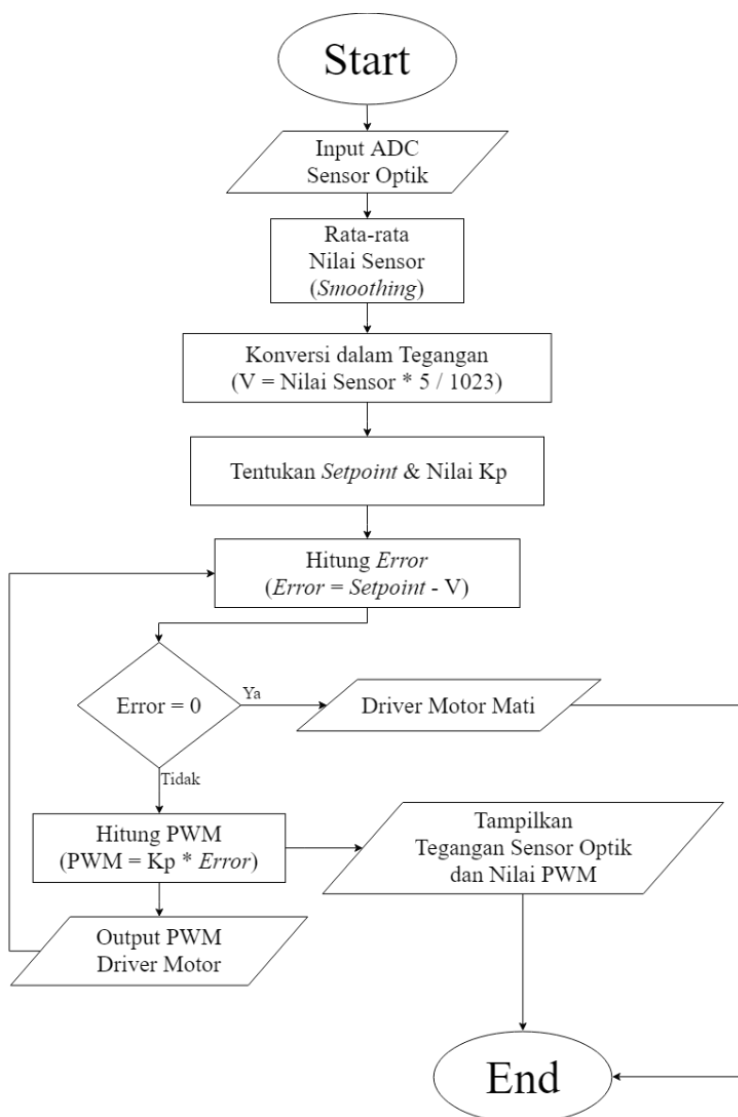
```
sensor_read = sensor_average;  
error = sensor_setpoint - sensor_read;  
motor_out =  $K_p$  * error;  
motor_out = bound(motor_out, min, max);
```

### 3.4.4 Kendali *Diaphragm Pump*

Kendali *diaphragm pump* dilakukan dengan mengirimkan nilai PWM menuju *driver* motor yang telah dihubungkan dengan *diaphragm pump*. *Listing* program yang digunakan sebagai berikut:

```
digitalWrite(motor_in1, LOW);  
digitalWrite(motor_in2, HIGH);  
analogWrite(motor_enA, motor_out);
```





**Gambar 3.18** Flowchart perangkat lunak sistem

*.....Halaman ini sengaja dikosongkan.....*

## **BAB IV**

### **PENGUJIAN DAN ANALISIS**

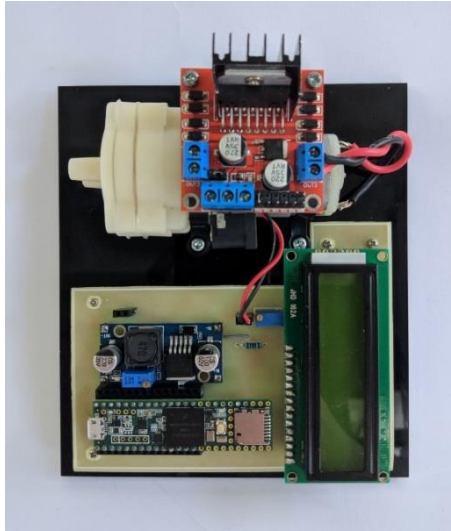
Pada bab ini membahas mengenai pengujian dan analisis dari sistem pemisah air-minyak yang telah dirancang pada bab sebelumnya. Pengujian dan analisis pada bab ini dibagi menjadi 4 tahap yang meliputi realisasi mekanik, pengujian perangkat keras, pengujian sistem dan pengujian akhir. Pada setiap tahap pengujian dan analisis juga disertai tabel dan gambar yang mendukung hasil pengujian.

#### **4.1. Realisasi Mekanik**

Realisasi mekanik ruang pengujian ditunjukkan pada gambar 4.1. Bahan yang digunakan pada ruang tersebut yaitu akrilik dengan ketebalan 3 mm. Ruang menggunakan akrilik karena lebih hemat biaya dan ringan dibandingkan bahan kaca. Tahap pertama yang dilakukan yaitu pembuatan setiap bagian atau sisi dari ruang. Kemudian setiap bagian direkatkan menggunakan lem khusus akrilik sehingga terbentuk ruang seperti perancangan mekanik pada gambar 3.16. Tahap terakhir yaitu dilakukan pelapisan silikon pada bagian dalam ruang agar tidak ada kebocoran saat diisi dengan air. Hasil realisasi mekanik ruang pengujian dapat dilihat pada gambar 4.1. Pada bagian depan akrilik ditempelkan sebuah



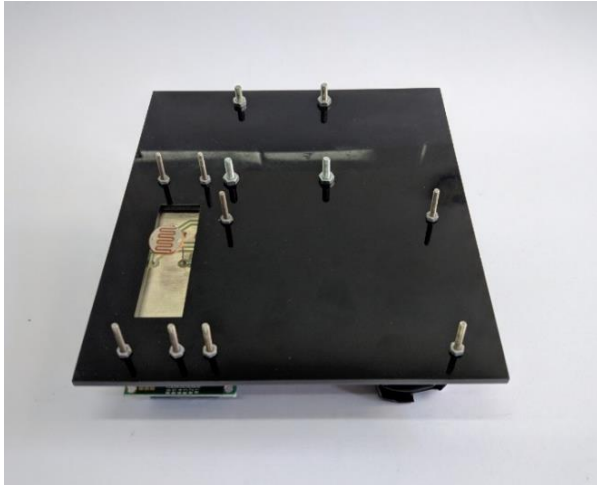
**Gambar 4.1** Realisasi mekanik ruang pengujian



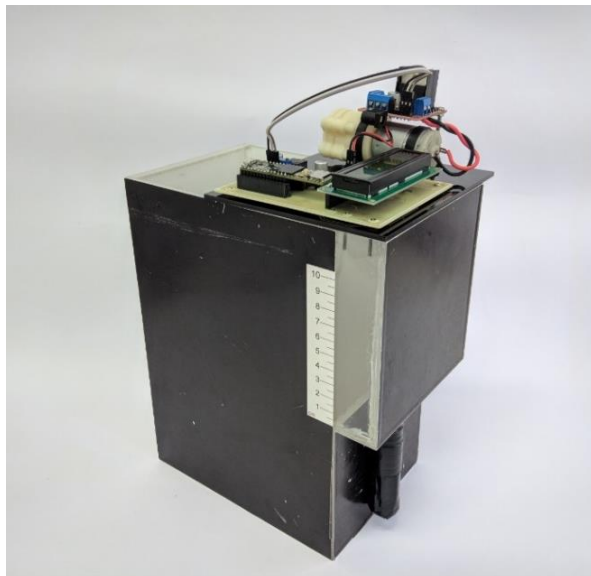
**Gambar 4.2** Realisasi rangkaian elektrik

stiker berbentuk penggaris untuk memantau ketebalan air dan minyak di dalam ruang. Pada sisi lain ruang juga ditempelkan stiker berwarna hitam untuk mengurangi cahaya yang masuk ke dalam ruang, sehingga kerja sensor optik tidak terganggu oleh cahaya luar.

Hampir seluruh rangkaian elektrik sistem terletak pada bagian atas ruang. Rangkaian elektrik tersebut meliputi sensor optik (LDR), Teensy, LCD, *buck converter*, *driver motor* dan *diaphragm pump* yang dapat dilihat pada gambar 4.2. Pada gambar 4.3 merupakan penempatan komponen LDR. Hanya komponen optik berupa laser yang tidak diletakkan pada bagian atas ruang, karena laser digunakan sebagai sumber cahaya yang berasal dari bawah air. Oleh karena itu, laser diletakkan pada bagian bawah ruang. Realisasi mekanik secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 4.4.



**Gambar 4.3** Penempatan komponen LDR



**Gambar 4.4** Realisasi mekanik ruang pengujian keseluruhan



**Gambar 4.5** Realisasi mekanik prototipe kapal

Realisasi mekanik selanjutnya yaitu prototipe kapal seperti pada gambar 4.5. Rangkaian kapal menggunakan rangkaian seperti pada ruang pengujian, tetapi ditambahkan pipa PVC (*Polyvinyl chloride*) sebagai pelampung rangkaian agar dapat mengapung di air dan cermin untuk memantulkan cahaya laser yang diletakkan pada bagian atas kapal menuju LDR seperti pada gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Penempatan cermin pada prototipe kapal

## 4.2. Pengujian Perangkat Keras

Pada pengujian perangkat keras dilakukan dengan menguji tiap komponen yang digunakan pada sistem pemisah air-minyak. Pengujian ini meliputi pengujian *diaphragm pump*, sensor optik dan LCD.

### 4.2.1 Pengujian *Diaphragm Pump*

Pengujian *diaphragm pump* dilakukan untuk mengetahui laju atau daya hisap *diaphragm pump* dengan nilai PWM yang berbeda-beda. Pada pengujian ini nilai PWM yang diberikan dari 0 sampai 100 persen. Nilai PWM diatur melalui program yang diunggah ke Teensy. Untuk suplai tegangan, *diaphragm pump* dihubungkan dengan *driver* motor yang disuplai dengan sumber tegangan 12V. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.1. Dari hasil pengujian, *diaphragm pump* bekerja sesuai dengan spesifikasinya yaitu memiliki daya hisap 2 – 3 L/min.

### 4.2.2 Pengujian Sensor Optik

Pada pengujian sensor optik, pertama dilakukan pengujian terhadap LDR. Pengujian dilakukan dalam dua keadaan cahaya, yaitu gelap dan terang. Keadaan gelap yaitu keadaan saat permukaan LDR dihalangi kertas, sehingga tidak ada cahaya yang mengenai permukaan LDR. Sedangkan keadaan terang yaitu keadaan saat permukaan LDR menerima

**Tabel 4.1** Hasil pengujian *diaphragm pump*

PWM (%)	Daya Hisap (L/min)
10	0
20	0
30	0.2
40	0.5
50	0.8
60	1.2
70	1.5
80	1.7
90	2.3
100	2.8

**Tabel 4.2** Hasil pengujian LDR

Keadaan	Resistansi
Gelap	1.8 M $\Omega$
Terang	11.4 K $\Omega$

intensitas cahaya yang tinggi menggunakan laser. Pada pengujian ini, parameter yang akan digunakan yaitu resistansi komponen LDR dan nilai yang terbaca oleh ADC Teensy. Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian komponen LDR.

Berdasarkan datasheetnya, LDR tipe GL12528 memiliki resistansi 10 – 20 K $\Omega$  dalam keadaan terang dan 2 M $\Omega$  dalam keadaan gelap. Dari hasil pengujian tersebut, terlihat bahwa komponen LDR yang digunakan bekerja dengan baik.

Untuk pengujian laser dilakukan dengan menguji *driver* laser yang dihubungkan dengan laser dioda. Pada pengujian ini, suplai *driver* laser menggunakan baterai 3.7V. Dari hasil pengujian, laser yang digunakan bekerja dengan baik.

#### 4.2.3 Pengujian LCD

Pada pengujian LCD dilakukan pemrograman menggunakan Teensy untuk menampilkan parameter sistem. Parameter yang ingin ditampilkan pada sistem yaitu *input* sistem berupa tegangan sensor optik dan *output* sistem berupa nilai PWM dalam persentase yang digunakan untuk mengatur laju *diaphragm pump*. Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengujian LCD. Dari hasil pengujian tersebut, terlihat bahwa LCD dapat menampilkan parameter *input* dan *output* sistem dengan baik.



**Gambar 4.7** Hasil pengujian LCD

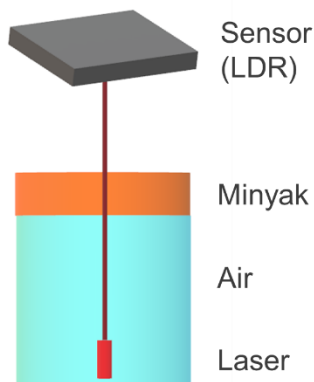


### 4.3. Pengujian Sistem Pemisah Air – Minyak

Pada pengujian sistem pemisah air-minyak, dilakukan pengujian untuk menentukan beberapa parameter yang akan digunakan pada sistem. Pengujian ini meliputi pengujian kontrol proporsional, minyak dan aktuator.

#### 4.3.1 Pengujian Minyak Menggunakan Sensor Optik

Pengujian minyak dilakukan untuk mengetahui pengaruh ketebalan minyak terhadap tegangan sensor optik. Pada pengujian ini, jenis minyak yang digunakan yaitu oli bekas motor dan bahan bakar solar. Pemilihan oli bekas motor karena oli tersebut menyerupai minyak bumi yang memiliki ciri-ciri kental dan berwarna hitam pekat. Sedangkan solar karena merupakan bahan bakar yang digunakan kapal-kapal yang melitasi berbagai perairan. Pengujian dilakukan menggunakan komponen optik yang terdiri dari laser dan LDR. Laser berfungsi sebagai sumber cahaya dan LDR akan menerima cahaya tersebut untuk diukur tegangannya. Pada pengujian ini digunakan metode seperti pada gambar 4.8, dimana laser diletakkan pada bagian bawah ruang pengujian dan LDR diletakkan pada bagian atas. Cahaya laser akan dipancarkan dari bawah menuju atas, dimana intensitas cahaya akan dipengaruhi oleh daya serap minyak yang



**Gambar 4.8** Metode pengujian minyak menggunakan sensor optik

diuji. Intensitas yang diterima LDR memiliki persamaan seperti persamaan 4.1, yang dipengaruhi oleh jarak sumber terhadap sensor dan koefisien atau daya serap cairan. Hasil pengukuran tegangan pada sensor optik ditampilkan pada LCD yang telah diprogram dan diunggah melalui Teensy. Tabel 4.3 dan gambar 4.9 menunjukkan hasil pengujian air tanpa adanya minyak.

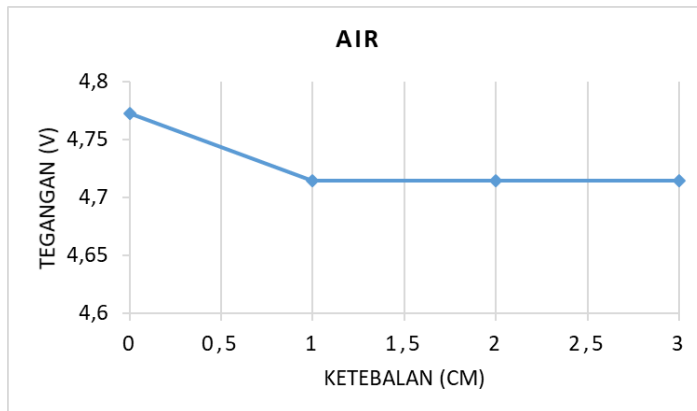
$$I = I_0 e^{-az} \quad (4.1)$$

Dimana,

- $I$  : Intensitas cahaya yang diterima sensor  
 $I_0$  : Intensitas cahaya awal dari sumber cahaya  
 $a$  : Koefisien daya serap cairan  
 $z$  : Jarak sumber cahaya ke sensor

**Tabel 4.3** Hasil pengujian air menggunakan sensor optik

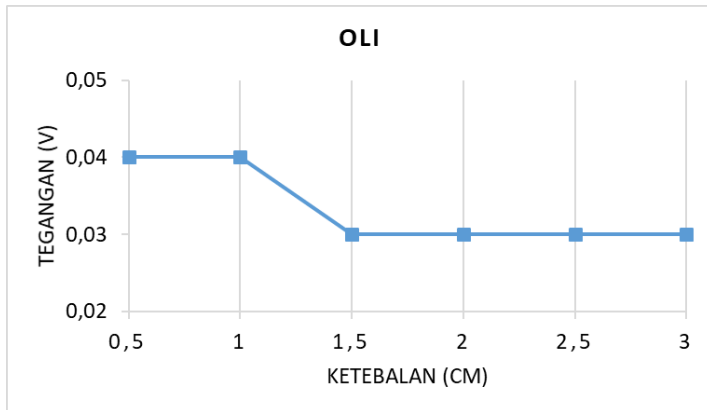
Ketebalan (cm)	Tegangan (V)
0	4.77
1	4.71
2	4.71
3	4.71



**Gambar 4.9** Hasil pengujian air menggunakan sensor optik

**Tabel 4.4** Hasil pengujian oli menggunakan sensor optik

Ketebalan (cm)	Tegangan (V)
0.5	0.04
1	0.04
1.5	0.03
2	0.03
2.5	0.03
3	0.03

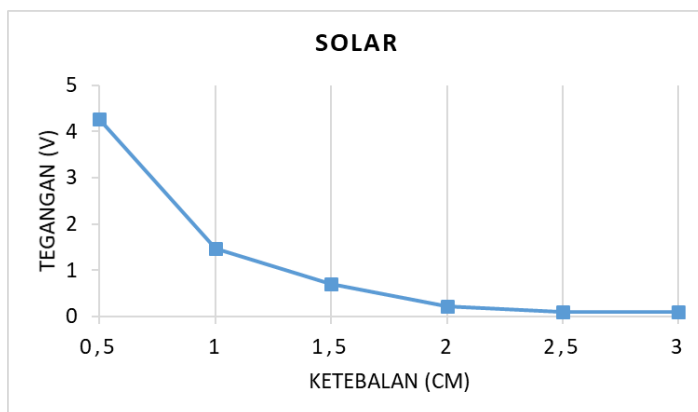


**Gambar 4.10** Hasil pengujian oli menggunakan sensor optik

Berdasarkan pengujian air di atas, ketebalan air tidak terlalu berpengaruh pada tegangan sensor optik, karena tegangan sensor tetap 4.71V walaupun ketebalan air sudah diubah dari 0 sampai 3 cm dengan interval 1 cm. Sesuai dengan penelitian sebelumnya, dimana daya serap air tergolong kecil, sehingga cahaya laser tidak banyak diserap oleh air [4]. Selanjutnya, tabel 4.4 dan gambar 4.10 menunjukkan hasil pengujian oli bekas motor.

**Tabel 4.5** Hasil pengujian solar menggunakan sensor optik

Ketebalan (cm)	Tegangan (V)
0.5	4.22
1	1.49
1.5	0.77
2	0.20
2.5	0.11
3	0.10



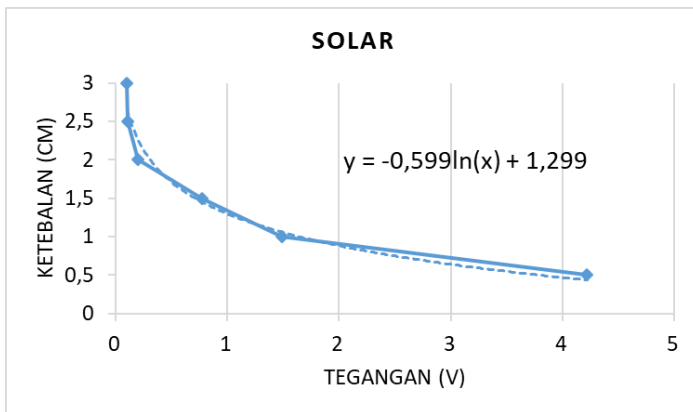
**Gambar 4.11** Hasil pengujian solar menggunakan sensor optik

Berdasarkan pengujian oli di atas, ketebalan oli sangat berpengaruh pada tegangan sensor optik, karena tegangan sensor sangat kecil, sekitar 0.04 V dari awal pengujian oli yaitu dengan ketebalan 0.5 cm. Begitu juga dengan pengujian ketebalan oli selanjutnya, hingga 3 cm dengan interval 0.5 cm. Sesuai dengan penelitian sebelumnya, dimana daya serap oli tergolong besar, sehingga cahaya laser banyak diserap oleh oli dan cahaya susah menembus lapisan oli [4]. Terakhir, tabel 4.5 dan gambar 4.11 menunjukkan hasil pengujian bahan bakar solar.

Berdasarkan pengujian solar di atas, ketebalan solar berpengaruh pada tegangan sensor optik, tetapi lebih baik dibandingkan oli pada pengujian sebelumnya. Saat ketebalan oli, tegangan sensor optik 4.22 V. Kemudian saat ketebalan solar ditambah dengan interval 0.5 cm, secara perlahan tegangan sensor optik turun menjadi 1.49 dan akhirnya 0.1 V

**Tabel 4.6** Perbandingan matematis dan pengujian solar

Tegangan (V)	Ketebalan (cm)		Error
	Matematis	Pengujian	
4.22	0.44	0.5	0.06
1.49	1.06	1	0.06
0.77	1.43	1.5	0.07
0.20	2.26	2	0.26
0.11	2.68	2.5	0.18
0.10	2.68	3	0.32



**Gambar 4.12** Pendekatan matematis pada pengujian solar

saat ketebalan mencapai 3 cm. Dari grafik pada gambar 4.12, dapat dilihat hasil dari pengujian sensor optik menggunakan solar memiliki grafik yang cukup linier dibandingkan grafik pada pengujian oli. Hal tersebut disebabkan oleh solar yang memiliki daya serap cahaya yang lebih kecil dibandingkan oli. Oleh karena itu, minyak yang digunakan pada sistem ini adalah solar. Dari hasil pengujian tersebut juga dapat dilakukan pendekatan matematis menggunakan persamaan logaritmik untuk memperkirakan ketebalan minyak dari tegangan yang diperoleh sensor optik. Perbandingan hasil pengujian dan pendekatan matematis ditunjukkan pada gambar 4.12 dan tabel 4.6. Dari pendekatan matematis tersebut, diperoleh seperti persamaan 4.1.

$$y = -0.599 \ln(x) + 1.299 \quad (4.1)$$

Berdasarkan perbandingan diatas, perbedaan nilai antara hasil pengujian dan pendekatan matematis tidak terlalu besar. Jika dirata-rata, tingkat kesalahan untuk memperkirakan ketebalan minyak sebesar 15,83%. Oleh karena itu, sistem dapat memperkirakan ketebalan minyak dari tegangan yang diperoleh sensor optik dengan rentang ketebalan 0.3 sampai 2.7 cm.

### 4.3.2 Pengujian *Diaphragm Pump* Pada Sistem

Setelah didapatkan tegangan *setpoint*, nilai *kp* dan jenis minyak yang digunakan untuk pengujian sistem ini, dilakukan pengujian aktuator yang meliputi *driver* motor dan *diaphragm pump*. Dari hasil pengujian, jika *diaphragm pump* terlalu cepat, banyak air yang ikut terhisap dari ruang pengujian, sehingga tangki akan cepat penuh karena terdapat air yang seharusnya tidak ikut dihisap. Sedangkan jika terlalu lambat, minyak tidak dapat terhisap dari permukaan air, sesuai dengan pengujian *diaphragm pump* sebelumnya. Oleh karena itu, dilakukan pembatasan rentang kerja *diaphragm pump* yaitu antara 30 – 80% dari nilai PWM saja.

### 4.4. Pengujian Akhir

Setelah melakukan berbagai pengujian, rangkaian elektrik dan modul yang digunakan pada penelitian ini dapat bekerja dengan baik. Dari hasil pengujian didapatkan juga berbagai variabel dan nilai yang akan digunakan pada sistem, seperti tegangan *setpoint*, nilai *kp*, jenis minyak yang digunakan dan nilai PWM yang digunakan untuk mengatur laju *diaphragm pump*. Tabel 4.7 menunjukkan variabel dan nilai yang akan digunakan pada sistem.

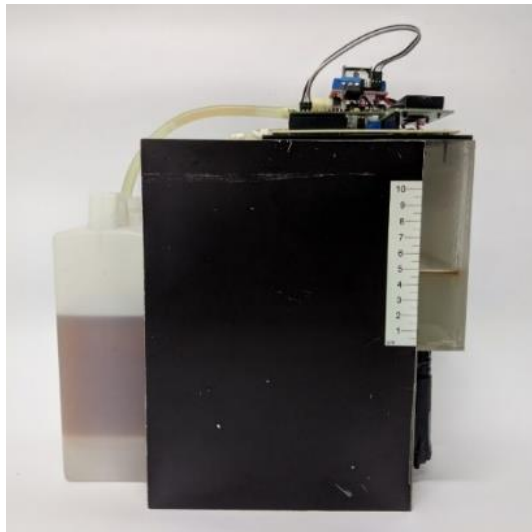
Dengan mengimplementasikan nilai-nilai di atas, sistem diuji secara keseluruhan. Pada pengujian akhir, ketebalan solar ruang pengujian mencapai 3 cm. Hasil dari pengujian sistem, sisa lapisan solar pada ruang pengujian sekitar 0.3 cm seperti pada gambar 4.13. Dari hasil tersebut, sistem dapat mengambil minyak setebal 2.7 cm dari ruang pengujian, sehingga tingkat keberhasilan sistem mencapai 90%.

**Tabel 4.7** Variabel dan nilai yang digunakan pada sistem

<b>Nilai Setpoint (Ketebalan)</b>	0.3 cm
<b>Nilai Kp</b>	80
<b>Jenis Minyak</b>	Bahan bakar solar
<b>Rentang Nilai PWM</b>	30 – 80 %

Pengujian selanjutnya yaitu mengimplementasikan sistem pada suatu prototipe kapal. Pada pengujian ini ketebalan awal solar mencapai 1.5 cm. Hasil dari pengujian sistem pada prototipe kapal, sisa lapisan solar sekitar 0.2 cm seperti pada gambar 4.14. Dari hasil, sistem dapat mengambil minyak setebal 1.8 cm, sehingga tingkat keberhasilan implementasi sistem mencapai 86%.

Dari kedua pengujian sistem menggunakan ruang pengujian dan prototipe kapal, perbedaan tingkat keberhasilan sistem tidak terlalu jauh, sehingga sistem pemisah air – minyak ini dapat digunakan untuk mengatasi adanya tumpahan minyak di laut.



**Gambar 4.13** Hasil pengujian sistem menggunakan ruang pengujian



**Gambar 4.14** Hasil pengujian sistem pada prototipe kapal



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Sistem pemisah air – minyak berbasis metode adsorpsi atau penyedotan ini merupakan suatu metode untuk mengatasi tumpahan minyak di laut secara otomatis. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa komponen optik yang memanfaatkan laser dan LDR (*light dependent resistor*) dapat digunakan untuk mengukur ketebalan minyak dengan jenis bahan bakar solar dibandingkan oli bekas motor. Dengan melakukan pendekatan matematis, ketebalan minyak juga dapat diperkirakan dari hasil pembacaan sensor optik. Tingkat keberhasilan sistem menggunakan ruang pengujian dan prototipe kapal tidak terlalu jauh, yaitu 90% menggunakan ruang pengujian dan 86% pada implementasi prototipe kapal. Dari hasil pengujian tersebut, sistem ini layak untuk diimplementasikan pada ASV (*Autonomous Surface Vehicles*) sebagai salah satu metode untuk melakukan pembersihan laut dari tumpahan minyak secara otomatis.

#### **5.2. Saran**

Beberapa saran untuk pengembangan penelitian ini adalah :

1. Jika kondisi air tidak tenang, dapat diterapkan konsep ruang pengujian.
2. Penggunaan laser dan LDR kurang baik dalam memperkirakan ketebalan minyak yang memiliki daya serap tinggi. Sehingga perlu digunakan metode lain seperti pasangan LDR dan LED.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Utama, “Ratusan Nelayan Balikpapan Terdampak Tumpahan Minyak Menanti Kompensasi,” BBC Indonesia, 09-Apr-2018.
- [2] S. A. Abdul-Wahab, “In Situ Device for Detection of Oil Spill in Seawater,” *Electroanalysis*, vol. 18, no. 21, pp. 2148–2152, Nov. 2006.
- [3] F. R. Saputra and M. Rivai, “Autonomous Surface Vehicle sebagai Alat Pemantau Lingkungan Menggunakan Metode Navigasi Waypoint,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 1, Mar. 2018.
- [4] S. Oh and M. Lee, “Detection of Hydrocarbon Oil in Seawater by Light Absorption Analysis,” *SENSORDEVICES 2013 : The Fourth International Conference on Sensor Device Technologies and Applications*.
- [5] L. Warlina, “Pencemaran Air: Sumber, Dampak dan Penanggulangannya,” Institut Pertanian Bogor.
- [6] Z. Syah Putra, M. Rivai, and Suwito, “Sistem Sensor Kualitas Minyak Berdasarkan Pada Pengukuran Kapasitansi Dan Panjang Berkas Pembiasan Cahaya,” *Jurnal Teknik POMITS*, vol. 2, no. 1, 2013.
- [7] C. A. Grimes, E. C. Dickey, and M. V. Pishko, Eds., *Encyclopedia of sensors*. Stevenson Ranch, Calif: American Scientific Publishers, 2006.
- [8] M. C. A. Issa, *Lasers, lights and other technologies*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2018.
- [9] P. G. Hewitt, *Conceptual Physics*. México: Pearson Educación, 2004.
- [10] “Laser,” [id.wikipedia.org](https://id.wikipedia.org). 14 Mei 2018.
- [11] “Photoresistor,” [physics-and-radio-electronics.com](https://physics-and-radio-electronics.com). 21 Mei 2018.
- [12] S. Michrandi Nasution, Y. Purwanto, A. Virgono, and G. Chandra Alam, “Integration of Kleptoware as Keyboard Keylogger for Input Recorder Using Teensy USB Development Board,” 2014 8th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications (TSSA).
- [13] L. Riadhi, M. Rivai, and F. Budiman, “Sistem Pengaturan Oksigen Terlarut Menggunakan Metode Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler Teensy Board,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 2, 2017.

- [14] P. T. Asri, M. Rivai, and T. Tasripan, "Sistem Pendeteksi Kepatahan Mata Bor pada Mesin Cetak PCB Berdasarkan Analisa Getaran Spindle Menggunakan Teensy Board," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 1, Mar. 2018.
- [15] M. Araki, "PID Control," *Control Systems, Robotics and Automation*, vol. II.
- [16] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5th ed. Boston: Prentice-Hall, 2010.
- [17] A. Andri Kurniawan, M. Rivai, and F. Budiman, "Sistem Pemandu Pendaratan pada Balon Udara Berbasis Pengolahan Citra dan Kendali PID," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [18] P. Dwi Wijaya, M. Rivai, and Tasripan, "Rancang Bangun Mesin Pemotong Styrofoam 3 Axis Menggunakan Hot Cutting Pen dengan Kontrol PID," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [19] D. Cook, *Intermediate robot building*, 2nd ed. [Berkeley, Calif.] : New York: Apress ; Springer-Verlag [distributor], 2010.
- [20] "Diaphragm Pump," [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org). 14 Mei 2018.
- [21] B. Tamam, "Rancang Bangun Buoyant Boat Bertenaga Surya Untuk Membantu Komunikasi Antara Remotely Operated Vehicle Underwater Robot Dengan Ground Station," *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- [22] M. A. Jordan and J. L. Bustamante, "Guidance of Underwater Vehicles With Cable Tug Perturbations Under Fixed and Adaptive Control Systems," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 33, no. 4, pp. 579–598, Oct. 2008.
- [23] "Exponential Smoothing Function in Phyton," [rawmeat.org](http://rawmeat.org). 14 Mei 2018.
- [24] A. Kurniawan, *Intelligent IoT projects in 7 days: build exciting projects using smart devices*. 2017.
- [25] H. Denkilikian et al., "Wireless Sensor for Continuous Real-Time Oil Spill Thickness and Location Measurement," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 58, no. 12, pp. 4001–4011, Dec. 2009.
- [26] A. Massaro, A. Lay-Ekuakille, D. Caratelli, I. Palamara, and F. C. Morabito, "Optical Performance Evaluation of Oil Spill Detection Methods: Thickness and Extent," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 61, no. 12, pp. 3332–3339, Dec. 2012.

## LAMPIRAN A

### Program Inti Sistem Pemisah Air – Minyak

```
#include <LiquidCrystal.h>

int sensor_pin = A0;
int led = 13;

int motor_enA = 23;
int motor_in1 = 22;
int motor_in2 = 21;

float sensor_setpoint = 0;
float Kp = 80;

const int numReadings = 5;
int readings[numReadings];
int readIndex = 0;
int total = 0;
float average = 0;

float sensor_average = 0;
float sensor_read = 0;
float error = 0;
int motor_out = 0;
int motor_lcd = 0;

float Tebal = 0;

LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  pinMode(sensor_pin, INPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
  pinMode(motor_enA, OUTPUT);
  pinMode(motor_in1, OUTPUT);
```

```

pinMode(motor_in2, OUTPUT);
for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++)
{
    readings[thisReading] = 0;
}

void led_on(){
    digitalWrite(led, HIGH);
    delay(50);
    digitalWrite(led, LOW);
    delay(50);
}

void sensor() {
    total = total - readings[readIndex];
    readings[readIndex] = analogRead(sensor_pin);
    delay(100);
    total = total + readings[readIndex];
    readIndex = readIndex + 1;

    if (readIndex >= numReadings) {
        readIndex = 0;
    }

    average = total / numReadings;
    sensor_average = average * (5.0 / 1023.0);

    sensor_read = sensor_average;
    Tebal = ((-0.599) * log(sensor_read)) + 1.299;
    error = Tebal - sensor_setpoint;
    motor_out = Kp * error;
    motor_out = bound(motor_out, 0, 210);

    if (motor_out <= 80){
        motor_out = 0;
    }
    motor_lcd = (motor_out / 255.0) * (100.0);
}

```

```

float bound(float x, float x_min, float x_max) {
    if (x < x_min) { x = x_min; }
    if (x > x_max) { x = x_max; }
    return x;
}

void motor() {
    digitalWrite(motor_in1, LOW);
    digitalWrite(motor_in2, HIGH);
    analogWrite(motor_enA, motor_out);
}

void lcd_on() {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Tebal ");
    lcd.print(Tebal);
    lcd.print(" cm");

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Motor ");
    lcd.print(motor_lcd);
    lcd.print(" %");
    delay(800);
    lcd.clear();
}

void loop() {
    if(millis() >= 3000) {
        led_on();
        sensor();
        motor();
        lcd_on();
    }
    else{
        led_on();
        sensor();
    }
}

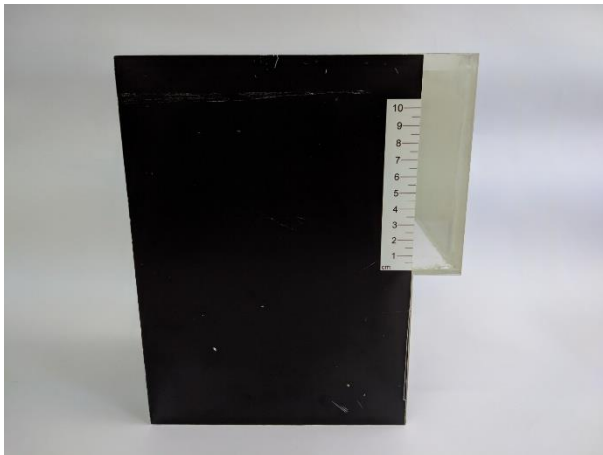
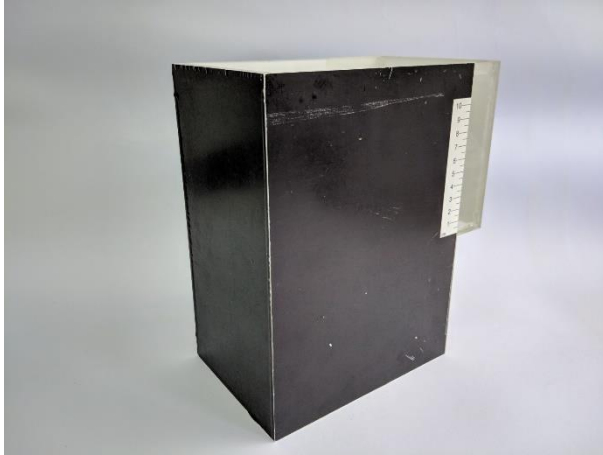
```

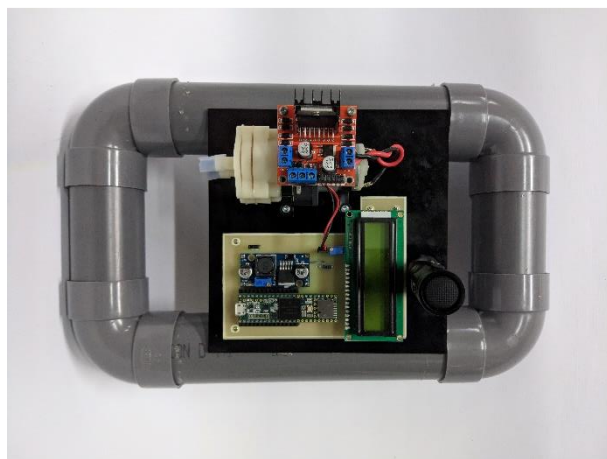
.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....



## LAMPIRAN B

### Dokumentasi Alat





## LAMPIRAN C

**Tabel Perkiraan Ketebalan Solar Menggunakan Pendekatan Matematis**

<b>Tegangan (V)</b>	<b>Ketebalan (cm)</b>
0.1	2.68
0.3	2.02
0.5	1.71
0.7	1.51
0.9	1.36
1.1	1.24
1.3	1.14
1.5	1.06
1.7	0.98
1.9	0.91
2.1	0.85
2.3	0.80
2.5	0.75
2.7	0.70
2.9	0.66
3.1	0.62
3.3	0.58
3.5	0.55
3.7	0.51
3.9	0.48
4.1	0.45
4.3	0.43
4.5	0.40
4.7	0.37

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Medan pada tanggal 24 Oktober 1995. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis memulai pendidikan di SDIT Siti Hajar Medan dan SD Nasima Semarang, lalu melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Medan, selanjutnya dilanjutkan di SMA Pribadi Depok. Lalu penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Teknik Elektro ITS melalui jalur Mandiri pada tahun 2014. Selama menjalani perkuliahan di ITS, penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan yang diselenggarakan di ITS maupun di luar ITS. Selain itu penulis juga berpartisipasi sebagai asisten praktikum untuk praktikum rangkaian elektronika dan anggota laboratorium Elektronika Industri.

Email : bagusaps@outlook.com

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....